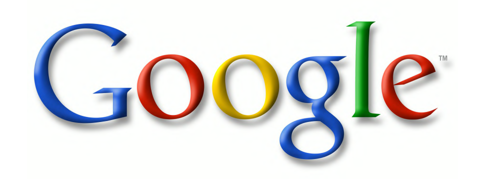
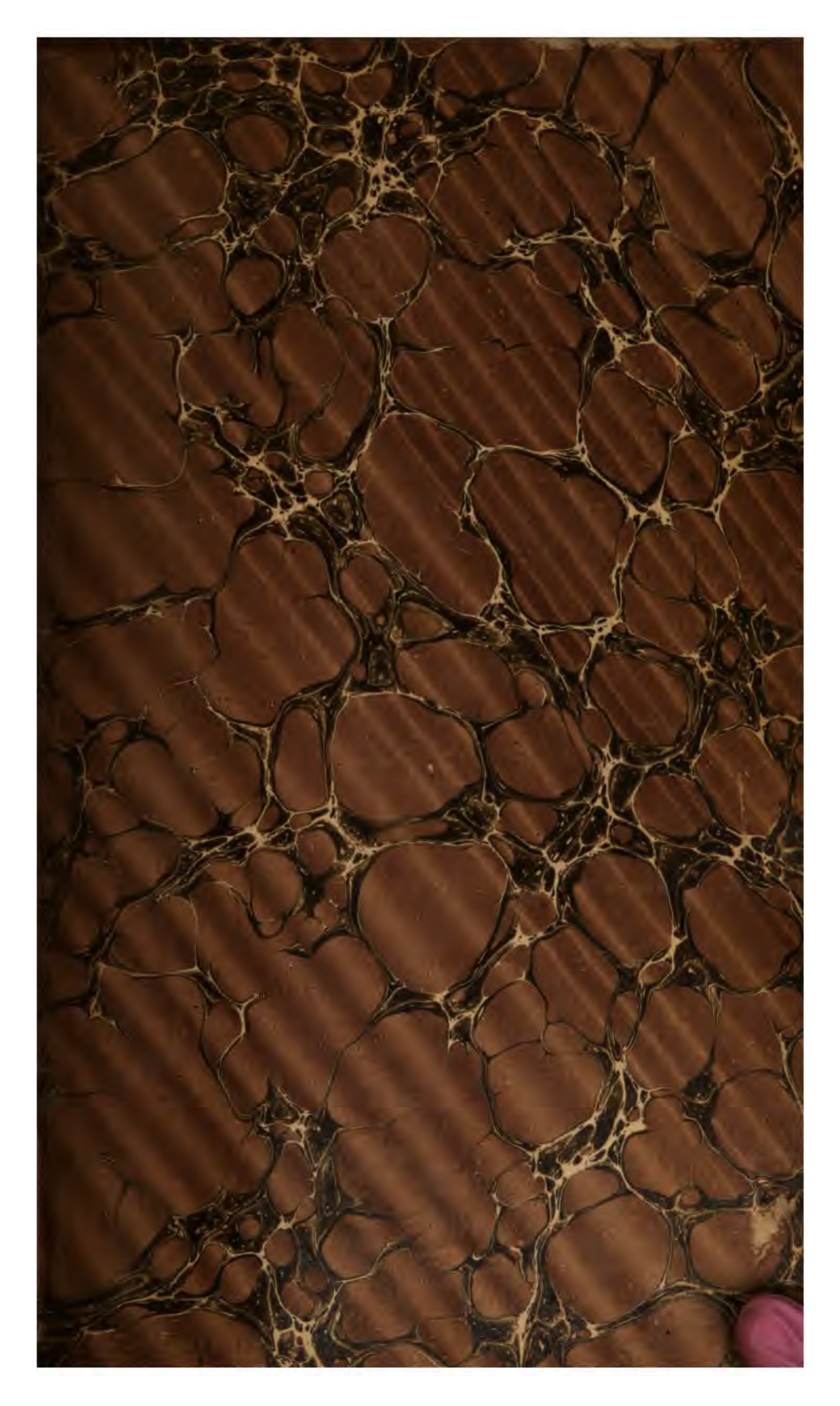
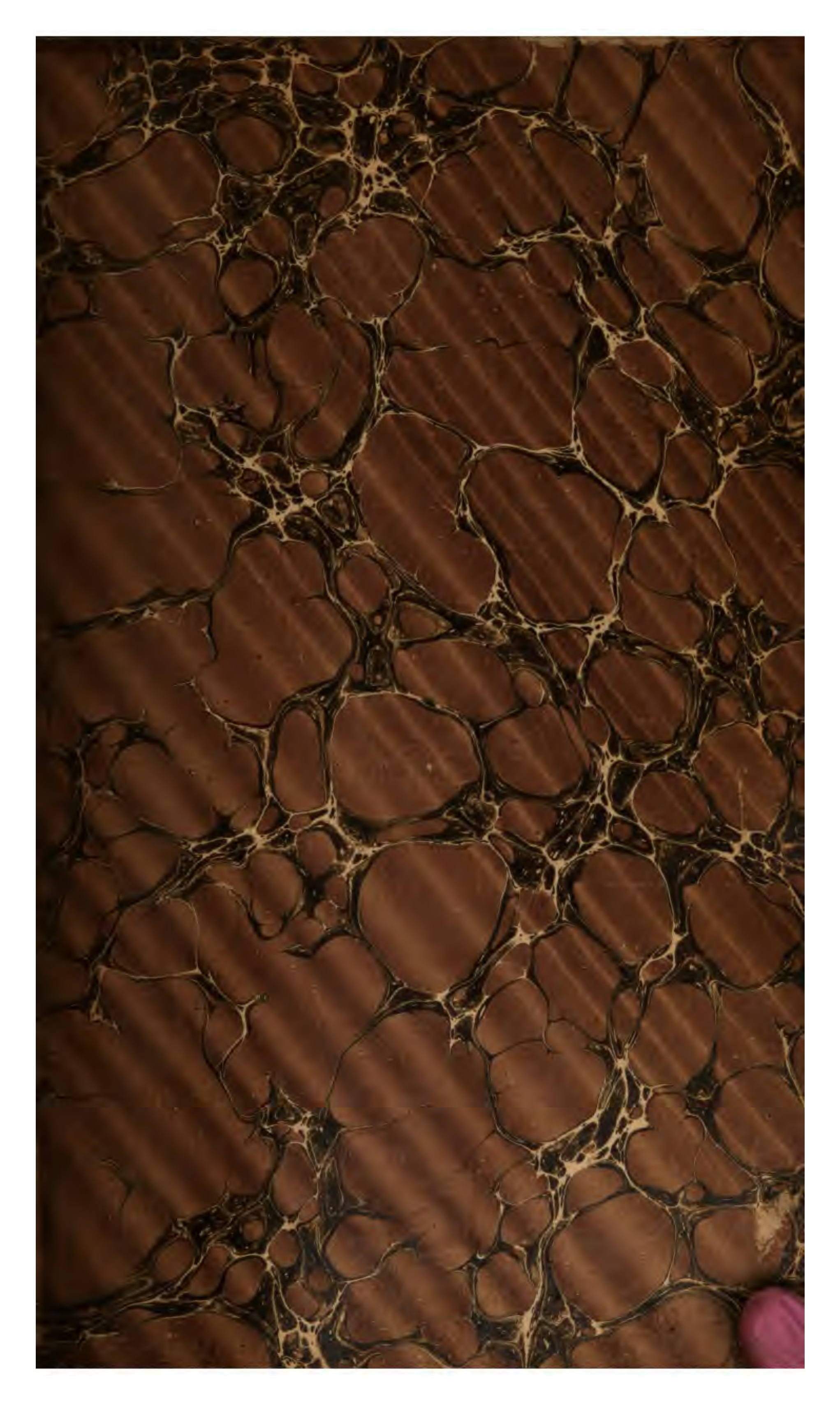

Google


Eng
808
56
TOME
2









# MANUEL

# DES ASPIRANTS

AU GRADE

D'INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

---

DEUXIÈME PARTIE. — PARTIE PRATIQUE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE MALLET-BACHELIER,
rue du Jardinet, 12.

# MANUEL
# DES ASPIRANTS

AU GRADE

## D'INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

---

## GUIDE

DU CONDUCTEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, DE L'AGENT VOYER,
DU GARDE DU GÉNIE ET D'ARTILLERIE,

RÉDIGÉ

**D'APRÈS LE NOUVEAU PROGRAMME OFFICIEL,**

PAR J. REGNAULT,
Bachelier ès sciences mathématiques.

---

**Partie pratique. — Tome deuxième.**

---

PARIS,
MALLET-BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
QUAI DES AUGUSTINS, 55.

1857

# TABLE DES MATIÈRES.

## NAVIGATION INTÉRIEURE.

## NOTIONS SUR LES DESSÉCHEMENTS ET LES IRRIGATIONS.

## NOTIONS SUR LES PORTS MARITIMES.

## NOTIONS D'ARCHITECTURE.

FIN DE LA TABLE.

# MANUEL DES ASPIRANTS

AU

# GRADE D'INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

## NAVIGATION INTÉRIEURE.

La navigation sur les rivières se fait de différentes manières.

Quelquefois on abandonne, à la descente, les bateaux au cours de l'eau, et on les dirige avec des gaffes, ou bien avec des rames ou avirons, et le plus souvent avec un gouvernail placé à l'arrière du bateau ; mais quelquefois, à cause de la sinuosité du cours, on est obligé d'avoir recours à une corde attachée au bateau, et à laquelle sont attelés des chevaux ou des hommes placés sur l'une des deux rives, et qui le dirigent dans une direction convenable.

Quand on remonte la rivière, ou bien quand, en descendant, on veut aller plus vite que le cours de l'eau, l'on emploie une force que l'on emprunte soit aux chevaux, soit à la vapeur.

La corde à laquelle on attelle les chevaux est fixée au mât placé dans l'axe du bateau en avant du centre de gravité. On appelle *haler un bateau* l'opération du tirage avec une corde. On nomme *chemin de halage* la voie que suivent les hommes ou les chevaux sur la rive pour tirer le bateau.

On emploie encore, sur les rivières navigables, des bateaux munis de roues à aubes, mues par la vapeur, avec lesquelles ils remontent ou descendent avec rapidité.

### DIVERS ÉTATS D'UN COURS D'EAU NATUREL.

On distingue trois états différents pour la hauteur des eaux :

1°. Lorsqu'elles sont descendues à leur niveau le plus bas, état que l'on désigne sous le nom d'*étiage;*

2°. Lorsqu'elles sont descendues au niveau auquel cesse la navigation;

3°. Lorsqu'elles se sont élevées à leur plus grande hauteur connue.

**Etiage.** — L'étiage ne descend pas tous les ans au même point; on conçoit en effet que des causes météorologiques puissent influer sur le niveau des rivières de manière qu'elles ne s'abaissent pas deux années de suite au même niveau; dans une même année on distingue même l'étiage d'hiver et l'étiage d'été.

**Epoque des hautes eaux.** — L'époque des hautes eaux n'est pas la même pour toutes les rivières de France. Celles qui prennent leurs sources dans des montagnes habituellement cou-

vertes de neige éprouvent des crues à la fonte de ces neiges ou bien à la suite de pluies abondantes. Pour d'autres, les crues sont produites par les eaux qui coulent sur le sol sans le pénétrer.

Les eaux ordinaires sont alimentées par les sources dont elles suivent les variations.

## RÉGIME D'UN COURS D'EAU.

Lorsque le lit d'une rivière est à peu près stable, c'est-à-dire quand ses rives résistent à l'action des eaux pendant les crues, et quand son tirant d'eau est à peu près invariable dans chacune de ses parties, on dit que *son régime est établi*.

Les parties profondes portent les noms de *racles*, de *mouilles* et de *bas-fonds;* les parties sans profondeur portent ceux de *baissiers*, de *maigres*, de *hauts-fonds*.

**Effets des alluvions entraînées par les fleuves.** — L'arrivée trop abondante et par conséquent trop rapide des eaux de pluie a pour effet l'entraînement au delà des limites ordinaires des rives, des alluvions et des matières qui forment le lit des torrents et des rivières. En effet, quand le niveau s'élève, la vitesse augmente, et alors des pierres plus ou moins grosses sont entraînées en même temps que les galets, le gravier et le sable que l'on trouve dans le lit de tous les fleuves d'un cours rapide. La nature des terrains que parcourent une rivière et ses affluents a une grande influence sur la nature des matières dont le lit est recouvert; ainsi les rivières reçoivent encore l'argile et les terres que les eaux pluviales entraînent en ravinant les champs cultivés, ainsi que toutes les matières qu'elles enlèvent à leurs rives corrodées.

**Marche des matières entraînées.** — M. Minard a recueilli sur ce sujet beaucoup de faits; nous lui empruntons une partie des détails qui suivent :

**Argile.** — L'argile est tenue en suspension par les eaux, et à moins qu'elle ne s'y trouve en grande abondance, elle ne se dépose que dans une eau à peu près dormante ; aussi arrive-t-elle presque toujours jusqu'à la mer. C'est elle qui, colorée par l'oxyde de fer, trouble les eaux dans les crues.

**Sable avec une vitesse modérée.** — Le sable est souvent entraîné par une eau animée d'une vitesse modérée, suivant la grosseur des grains. Il roule sur le fond et y forme des stries que l'on observe à toutes les marées sur les rivages sablonneux de la mer. Les grains de sable, entraînés successivement sur un plan incliné très-allongé, finissent par rouler à l'extrémité de ce plan, où se trouve un ressaut dont la pente est très-rapide; de sorte que c'est par une marche successive que les grains de sable avancent. Dubuat a conclu de plusieurs expériences que sous l'influence d'une vitesse de $0^m,30$ un grain de sable parcourait 2000 mètres par an.

**Sable avec une très-grande vitesse.** — Lorsque la vitesse est plus considérable, il n'y a plus de marche régulière, le sable se soulève, et l'écoulement du fluide ainsi chargé de sable sur une partie de sa profondeur ne conserve plus les mêmes lois d'é-

coulement qu'une eau non mélangée de corps étrangers; il est probable que la vitesse est sensiblement ralentie. En effet, s'il n'existait pas une cause retardatrice dans le mouvement de ces sables, les rivières à fond mobile et encaissées dans des berges inattaquables s'approfondiraient rapidement au lieu de rester stationnaires.

**Gravier.** — Le gravier ne peut pas être tenu en suspension par les eaux aussi facilement que le sable, puisqu'il est beaucoup plus pesant; cependant une vitesse convenable peut produire sur le gravier un effet à peu près pareil. On a la preuve de ce déplacement sur la Seine, la Loire et sur toutes les rivières à fond de gravier. On y remarque en effet que les bancs ou hauts-fonds que l'on drague au-dessus du niveau des basses eaux se reforment sans cesse, et qu'une crue de peu de durée suffit pour produire cet effet.

Des mouvements analogues ont lieu sur les cailloux du Rhin, du Rhône, etc., lorsque, pendant les grandes eaux, la vitesse atteint 3 ou 4 mètres par seconde.

On est porté à rechercher ce que deviennent les matières entraînées par les eaux, puisque les lits des différents cours d'eau conservent généralement la même profondeur et la même section. Quant aux pierres fournies par les torrents, elles cheminent en roulant plutôt qu'en glissant, de sorte qu'elles perdent bientôt leurs angles et leurs aspérités par l'effet des chocs et du frottement, et leur volume va toujours en diminuant. Les débris de ces pierres ne forment bientôt plus que du gravier ou du sable.

Il ne faudrait pas cependant supposer que les cailloux, le gravier et le sable proviennent toujours des blocs de pierre entraînés par les cours d'eau torrentiels. Les rivières, en attaquant leurs rives, entraînent souvent des amas de galets, de gravier ou de sable qu'ils y ont formés antérieurement, ou bien qui proviennent de quelques révolutions antérieures du globe.

Nous avons dit que les matières entraînées par les eaux diminuaient de volume à mesure qu'elles approchent de l'embouchure. Cependant on en enlève dans le lit des rivières une partie pour l'entretien des routes ou pour servir aux constructions, et une autre partie, ordinairement la plus ténue, se dépose sur les plaines submergées qu'elle fertilise; enfin le surplus arrive jusqu'à l'embouchure des fleuves.

A ce point la vitesse va en diminuant; puis elle cesse tout à fait, et si la mer est calme, il y a dépôt des matières en suspension. De là naît un atterrissement, par suite une diminution de vitesse, obstruction du fleuve à son embouchure, et relèvement successif de son lit en amont pour conserver la pente qui convient à la nature des matières dans lesquelles le lit est creusé. C'est pour remédier à ces surhaussements que l'on a élevé les digues du Rhône, dont la rupture a été souvent pour ces contrées une calamité publique. Ces atterrissements à l'embouchure des fleuves ont pris quelquefois des dimensions très-considérables, surtout quand ces fleuves débouchent dans des mers où l'influence des marais est faible. Ils y forment ordinairement des îles qui ressemblent au Δ grec, d'où est venu à ces atterrissements le nom de deltas.

## DIVERS MODES DE LOCOMOTION DES BATEAUX.

Nous avons déjà dit que pour faire marcher un bateau contre le courant, il fallait recourir à l'emploi d'une force motrice.

1°. On se sert d'hommes et de chevaux qui, placés sur la rive, tirent le bateau avec une corde.

2°. Sur certaines rivières on adapte des voiles aux mâts du bateau, et l'effort du vent sur les voiles lui imprime le mouvement.

3°. On emploie des roues à aubes qui sont mues par la vapeur; ces roues sont adaptées au bateau même; mais quelquefois elles sont établies sur un bateau spécial qui porte le nom de *remorqueur;*

4°. Enfin on a recours à divers systèmes de touage analogues à ceux que l'on emploie sur mer.

**Halage par des hommes ou des chevaux.** — Un bateau tiré par une corde dans une direction oblique au chenal qu'il parcourt viendrait s'échouer sur la rive de halage, si l'on ne détruisait à chaque instant la composante de la traction dans le sens transversal au moyen d'un gouvernail (*fig.* 1, *Pl. I*). Ainsi soient CD la direction de la corde de halage, et AB la direction suivant laquelle le bateau doit marcher, on dirigera le gouvernail dans le sens CD, afin que la résistance que l'on oppose au mouvement de translation de ce gouvernail fasse équilibre, autour du centre de gravité du bateau, à la composante de la traction qui tendrait à faire tourner le bateau.

Pour faire avancer parallèlement au fil de l'eau un bateau plat (*fig.* 2, *Pl. I*) qui n'aurait pas de gouvernail, il faudrait le diriger obliquement au courant, de manière que la résistance de l'eau sur le côté opposé au courant fît équilibre à la composante de la traction perpendiculairement à la rive.

Les chevaux de halage marchent avec une vitesse de $0^m,50$ à 1 mètre et traînent depuis 25 jusqu'à 100 tonnes dans un canal à eau dormante. Dans la montée d'un courant, leur effet utile décroît en raison du carré de la somme des vitesses du cheval et du courant.

Sur certains canaux, les hommes seuls halent les bateaux; ils traînent quelquefois des poids considérables, aussi ne font-ils que deux ou trois lieues par jour. Ce mode de halage n'est employé que quand il n'est pas important d'aller vite.

**Emploi des voiles.** — La navigation à la voile sur les cours d'eau intérieurs est très-précaire; il faut pour remonter un bateau des circonstances de vent qui ne se présentent que rarement. Lorsque le vent souffle dans une direction telle que sa composante, suivant l'axe du bateau, soit dirigée dans le sens de sa marche, il peut avancer, si cette composante surpasse en intensité la force qui tend à faire descendre le bateau; si cette composante est égale ou plus faible, le bateau reste stationnaire ou bien il recule.

Quand, au contraire, le vent souffle de l'avant, dans la direction AB, par exemple (*fig.* 3, *Pl. I*), la composante CA de l'effort qu'il exerce sur la voile AC agit de A vers D; la résistance qu'oppose l'eau à ce que le bateau cède à l'action transversale de cet effort peut être

remplacée par une force qui serait dirigée de A vers F, de sorte que le bateau s'avancerait en vertu de ces deux forces, si l'effort de propulsion était assez considérable et si la résistance du liquide au mouvement latéral était indéfinie, c'est-à-dire si le bateau ne dérivait pas. Mais comme cette résistance est loin d'être indéfinie, si le courant agit en sens inverse du mouvement de propulsion, il est difficile que le bateau puisse avancer dans de telles conditions. Il faut, pour qu'il remonte, peu de courant et un vent très-fort.

**Bateaux à vapeur.** — Les bateaux à vapeur sont mis en mouvement par des roues à aubes; ces roues à aubes sont du même système que les roues pendantes qui sont mues par le courant sans coursier; elles n'utilisent donc que $\frac{1}{4}$ environ de la force qui y est appliquée. Pour remonter il faut qu'elles aient une vitesse sensiblement plus grande que celle de l'eau sur laquelle elles s'appuient.

**Touage avec une chaîne fixe.** — On a établi à Paris un système de touage qui consiste à haler le bateau au moyen d'une chaîne longitudinale qui repose sur le fond du lit et qui passe entre deux cylindres cannelés placés sur un bateau spécial nommé *toueur*, lequel est mis en mouvement par une machine à vapeur. La chaîne est fixée aux deux extrémités du parcours; le bateau avance par l'effet du mouvement des cylindres sur cette chaîne.

## BALISES ET BOUÉES.

**Balises.** — Lorsque le talweg n'est pas facile à reconnaître, on place sur le bord de ce talweg, pour guider les bateaux dans leur marche, des balises ou longues perches maintenues par des haubans et garnies de balais à leur extrémité supérieure.

**Bouées.** — A l'embouchure des rivières on se sert aussi, dans le même objet, de bouées ou corps flottants attachés à des chaînes retenues elles-mêmes par des ancres.

On change la position des balises et des bouées suivant les modifications du chenal.

## ÉCHELLES DE NAVIGATION.

Pour faire connaître aux navigateurs la profondeur d'eau, on fixe ordinairement sur les piles des ponts des échelles métriques dont le 0 est placé au-dessous des basses eaux à la même profondeur que le fond du lit, dans les parties où ce lit est le moins creux. Ces échelles servent à compter chaque jour la hauteur des eaux; cette hauteur est importante à connaître quand on a des travaux à exécuter en lit de rivière. On conçoit en effet combien il importe de connaître d'avance les époques de l'année pendant lesquelles les eaux sont le plus basses, et la hauteur qu'elles atteignent ordinairement pendant la saison des travaux.

## LEVER DU PLAN ET DES PROFILS D'UN COURS D'EAU.

Pour faire des études sur une rivière, il faut avant tout connaître : 1° le plan exact du lit ; 2° le nivellement de la surface ; 3° les profondeurs des eaux dans le sens longitudinal et dans le sens transversal, c'est-à-dire le profil en long et les profils en travers ; 4° le jaugeage des eaux aux époques principales.

Le lever du plan n'exige aucune connaissance spéciale, mais seulement une grande exactitude. Cependant, il faut que les lignes suivant lesquelles le nivellement est fait y soient très-exactement rapportées.

Il faut apporter la plus grande attention pour le profil en long ; ce profil doit nécessairement avoir pour base des lignes de piquets plantés de manière à se rapprocher le plus possible des sinuosités de la rivière.

Les profils en travers doivent être rattachés aux lignes de piquets, non-seulement pour les côtes de repères, mais aussi pour la position en plan, c'est-à-dire la distance et la direction. De sorte qu'il conviendrait que ces deux opérations, lever de plan et nivellement, fussent faites simultanément.

**Repères.** — Afin de ne pas perdre la trace des nivellements, si les piquets venaient à être enlevés, on leur rattache des points de position invariable, tels que des seuils de maisons, des appuis de fenêtre, ou même, à leur défaut, on peut faire des entailles aux arbres ; on consigne ces repères sur le nivellement, afin que plus tard il n'y ait pas d'erreur possible.

Lorsque l'on fait le profil en travers d'une rivière, on plante un piquet à fleur d'eau et l'on détermine sa hauteur, puis on prend les profondeurs de l'eau à des distances que l'on juge les plus aptes à vous donner la configuration du lit dans toute l'étendue du profil en travers. Pour mesurer ces distances, il convient de tendre un fil de fer d'une rive à l'autre ; l'on marque sur ce fil tous les points de division par des ficelles qu'on y attache.

**Pente de rivières.** — La pente d'une rivière va généralement en diminuant de la source vers l'embouchure ; en effet, si l'on examine la formule du mouvement uniforme,

$$RI = av + bv^2$$

On voit que la vitesse reste constante dans tous les lits pour lesquels RI a la même valeur ; et comme le rayon moyen R croît avec la section, que la section pour une même vitesse croît avec le volume, et que le volume d'un cours d'eau augmente à mesure qu'il s'éloigne de sa source, il en résulte que la pente diminue nécessairement en marchant de l'amont vers l'aval ; il n'y a d'exception à cette règle qu'autant que le terrain dans lequel le lit est creusé change de nature. Si, après avoir coulé sur un sol argileux, une rivière coule sur le rocher, la pente augmentera, parce que le sol offrant plus de résistance, la section sera moindre que dans un terrain affouillable ; par conséquent il faudra que la vitesse, et par suite la pente, augmentent.

**Mesure du volume d'un cours d'eau.** — Lorsque l'on veut construire des travaux, il est essentiel de connaître le volume des eaux aux époques de l'étiage, des hautes eaux navigables et des crues, afin que l'on puisse mettre ces ouvrages en rapport avec les divers états du cours d'eau.

Le moyen le plus simple, pour mesurer le volume d'un cours d'eau, consiste à calculer le cube d'eau écoulé pendant l'unité de temps sur un profil dont on a déterminé la section; on mesure cette section, et l'on détermine, au moyen d'un flotteur, la vitesse de l'eau au passage du profil que l'on a choisi; toutefois, il faut avoir soin de fixer le lieu de la section en un point où les filets liquides soient parallèles, où, par conséquent, ce lit soit rectiligne et de section uniforme.

Le flotteur se compose d'un corps léger lesté pour qu'il affleure le niveau de l'eau et qu'il ne soit pas exposé à l'action du vent; on limite l'intervalle qu'il doit parcourir, et à l'aide d'une montre à secondes on détermine le temps que ce flotteur a mis à le parcourir. Si la forme du lit est celle indiquée dans la *fig. 4, Pl. I*, c'est-à-dire plate sur les bords, il faudra mesurer la vitesse à différents points de la section. Le flotteur détermine la vitesse à la surface en un point donné, et la formule de Prony donne la vitesse moyenne sur la verticale considérée.

Cette formule est :

$$v = \frac{u(u+2,37187)}{u+3,15312}$$

dans laquelle $v$ est la vitesse moyenne et $u$ la vitesse à la surface.

### CHENAL NAVIGABLE. — CHEMINS ET PONTS DE HALAGE.

Le décret impérial du 22 janvier 1808 porte que les chemins de halage sont obligatoires sur toutes les rivières navigables de l'empire, soit que la navigation y fût établie à cette époque, soit que le gouvernement se soit décidé depuis, ou se décide aujourd'hui ou à l'avenir à les rendre navigables, mais en stipulant que les propriétaires seront indemnisés partout où la navigation n'aurait pas été établie en 1669.

On exécute encore aujourd'hui les mesures utiles mentionnées dans le décret ci-dessus; et dans certaines localités, on interdit même aux propriétaires le labourage des terrains frappés de la servitude de halage, et l'on établit des chaussées en empierrement lorsque la navigation est active.

Il est important, pour la navigation, que le chemin de halage soit continu sur une rive, et que son niveau soit supérieur à celui des plus hautes eaux navigables. On conçoit que l'on doit éviter le passage d'une rive à l'autre, d'abord à cause des retards qui en seraient la conséquence, et ensuite parce qu'il faudrait presque toujours avoir recours à l'emploi de barques pour le transport des chevaux de halage d'une rive sur l'autre.

Quand on a le choix entre les deux rives, on doit préférer celle

qui est la plus rapprochée du chenal, et celle qui est la plus facilement praticable en toutes saisons.

Les ponts sont toujours des obstacles au halage; si les chevaux ne peuvent pas passer sous le pont, il faut qu'ils montent dessus, ce qui interrompt la navigation; si le talweg est éloigné, il faut placer une poulie fixe de façon que les chevaux puissent continuer le halage en revenant sur leurs pas, ou bien en suivant une autre direction.

On a fait, dans les culées de plusieurs ponts, des arches spéciales pour le halage; mais ce mode a aussi ses inconvénients, puisqu'il force à dételer les chevaux et cause ainsi un retard préjudiciable. La seule solution admissible est de placer le chemin de halage sous l'arche qui sert à la navigation. Si des raisons particulières empêchent d'élever le pont suffisamment pour le passage des chevaux sous l'intrados, il ne faudra pas hésiter à abaisser le chemin de halage, même au-dessous des hautes eaux navigables, en ayant soin de le munir d'un parapet qui puisse s'élever au-dessus du plan de ces eaux.

Les petits cours d'eau ou affluents de la rivière principale sont un obstacle au halage; il faut les couvrir de petits ponts qu'on nomme *ponts de halage*. On leur donne ordinairement un tablier en charpente sur des culées en maçonnerie, et on les construit au niveau de la berge de halage. Il faut avoir soin de disposer le garde-corps de ces ponts du côté de la rivière, de manière qu'il n'arrête pas les cordes de halage. Il est bon aussi de garnir le dessus du garde-corps d'une barre de fer qui empêche la corde de l'user; sans cela, sa surface supérieure présenterait bientôt des parties plus ou moins usées qui s'opposeraient au glissement de la corde.

## AMÉLIORATION DES RIVIÈRES EN LAISSANT UN LIBRE COURS AUX EAUX. — DRAGAGE.

Le défaut de profondeur d'une rivière est l'imperfection la plus sérieuse dans un cours d'eau navigable; il en résulte en effet l'échouage des bateaux et la cessation absolue des transports.

Pour remédier à cet inconvénient, la première idée qui se présente est de draguer les hauts-fonds pour donner plus de profondeur à l'eau; mais quand on enlève un haut-fond, s'il avait pour effet de faire retenue, le barrage naturel enlevé, les eaux s'abaissent en amont, et l'obstacle que l'on a détruit se trouve remplacé par un autre situé un peu plus haut; car généralement les hauts-fonds sont séparés par des parties profondes, et la chute qu'on détruit par la suppression d'un maigre, se reportant sur celui qui existait au-dessus, l'aggrave et le rend souvent plus mauvais que celui que l'on a supprimé; de sorte qu'après avoir beaucoup dépensé pour le dragage, on n'a pour résultat qu'un léger abaissement du niveau de l'eau.

Quand, au contraire, le haut-fond ne fait pas retenue, il est ordinairement le résultat d'un atterrissement provenant, soit du fond du lit qui se déplace, soit de la corrosion d'une berge attaquée.

Dans le premier cas, le travail que l'on ferait serait perdu, à moins que la forme du lit ne fût modifiée, parce que le dépôt est la conséquence de cette forme. Dans le second cas, on pourra prévenir le renouvellement du haut-fond en mettant la rive corrodée à l'abri des attaques du courant.

Parmi les machines à draguer, on distingue celle de M. Régemortes, perfectionnée par M. Kermaingant. Elle consiste en un chapelet vertical formé de deux chaînes auxquelles sont fixées des hottes, et s'enroulant du haut sur un hérisson, du bas sur deux cylindres placés à la même hauteur au-dessus du sol.

Le hérisson et les cylindres sont fixés à des montants verticaux suspendus à un bâtis en charpente porté sur un bateau. Sur ce même bateau est placé un manége auquel sont attelés deux chevaux qui mettent la machine en mouvement. On peut, aux chevaux, substituer une machine à vapeur.

## DÉFENSE ET REDRESSEMENT DES RIVES.

La sinuosité du cours d'eau est encore un obstacle très-gênant pour la navigation ; les coudes présentent des inconvénients graves. En effet, les bateaux éprouvent de grandes difficultés lorsque, engagés dans un coude, le courant les prend en travers, à bâbord vers la poupe, à tribord vers la proue. Un autre inconvénient, sensible surtout en montant, résulte de ce que, dans les coudes un peu brusques, la corde de halage tire les bateaux en travers, de sorte qu'ils ne peuvent doubler les pointes qu'autant qu'on les hale de dessus la rive concave (*fig.* 5, *Pl. I*).

Il n'y a d'autre remède à ce défaut que de redresser le lit en coupant les pointes ; mais il faut combiner cette amélioration de manière à altérer le moins possible le régime naturel du cours d'eau sur lequel on opère, c'est-à-dire qu'il faut lui conserver la même pente, la même section et le même développement. Si l'on ne pouvait pas satisfaire à ces conditions, il faudrait défendre le nouveau lit contre l'action du courant.

La défense des berges des cours d'eau est une opération nécessaire, soit dans l'intérêt de la navigation, soit dans l'intérêt des propriétaires riverains. Différents moyens ont été employés dans ce but.

Voulant proportionner les moyens de défense à la puissance de l'action corrosive, on a employé dans beaucoup de localités des revêtements verticaux en charpente pour défendre une rive attaquée. On enfonçait une suite de pieux derrière lesquels on plaçait, soit des madriers, soit des fascinages, et l'on formait ainsi une paroi verticale ; mais l'expérience a prouvé que l'effet de cette paroi verticale était d'attirer le courant et de produire un affouillement dans lequel les travaux de défense ne tardaient pas à tomber.

**Epis et revêtements en fascinage.** — On a employé, pendant des siècles, pour défendre les rives du Rhin, des revêtemens en fascinages que l'on nomme *épis*. On en a exécuté suivant deux systèmes différents ; les premiers étaient des revêtements en fasci-

nages qui se prolongeaient parallèlement à la rive, les autres étaient des épis placés en saillie.

Les épis du premier système, qu'on appelait épis de bordage, étaient construits avec de longues fascines de saules, disposées par couches successives et reliées à la rive par des enracinemens.

Les épis saillants étaient exécutés de la même manière, mais ils avaient un grand empâtement, à leur extrémité surtout, afin de ne pas être affouillés ou détruits par les remous que ces sortes d'ouvrages, quelle que soit leur forme, produisent toujours en amont et en aval.

On a renoncé sur le Rhin à l'emploi des épis en fascinage, et on leur a substitué de simples enrochements à pierres perdues. Voici comment on doit procéder à leur exécution lorsqu'on veut faire le travail à peu de frais. Soit *a b c* (*fig.* 6, *Pl. I*) la berge attaquée ; on forme un premier enrochement *c d e*, dont on calcule la position de manière que sa surface *d c* se trouve au pied du talus qu'on veut former. Quand on a élevé ainsi un bourrelet, on rapporte derrière des remblais en terre ou en gravier, et on arrase à peu près l'enrochement. Sur ce remblai de pierres et de terre ou gravier, on forme un second enrochement *d g f*, puis un remblai, et ainsi de suite. Par ce moyen, on forme une berge artificielle, inaffouissable, en employant le moins de pieux possible ; mais il faut pour cela que la vitesse de l'eau soit assez faible au moment des travaux pour ne pas entraîner les remblais faits dans l'eau.

Il convient de donner aux talus des enrochements au moins 2 de base pour 1 de hauteur, car plus le talus est allongé, moins les affouillements sont à craindre; c'est en partie par ce motif que les enrochements résistent mieux que les épis ou revêtements à parois presque verticales ; mais ce qui surtout les rend préférables, c'est que si un affouillement commence au pied d'un enrochement, les moellons, en y tombant, empêchent qu'il ne se continue.

## RESSERREMENTS.

Lorsqu'un cours d'eau est en ligne droite, il se conserve sans altération, tant qu'aucune cause ne détourne le courant pour le jeter sur l'une des rives plutôt que sur l'autre ; mais quand, au lieu d'être droit, il est courbe, les eaux qui, mises en mouvement par la pesanteur, tendent à suivre la direction qu'elles ont prise, viennent frapper la rive concave *a b c* et l'attaquent, tandis qu'elles s'éloignent, au contraire, de la rive convexe *d e f*, sur laquelle il se forme des atterrissements (*fig.* 7, *Pl. I*).

Si, dans une telle localité, on fait une section transversale du lit, telle que *e b* (*fig.* 8, *Pl. I*), on trouve qu'il y a beaucoup de profondeur vers la courbe concave et peu vers la courbe convexe, et si la vitesse est considérable, la surface de l'eau est sensiblement plus élevée près de la première de ces rives que dans le surplus de la section. Le point le plus élevé correspond à peu près au point de plus grande vitesse ou au talweg.

On a essayé sur la Loire différents systèmes : on a d'abord établi à Chouzé trois épis ou espèces de barrages normaux à la rive, de 240 mètres environ de longueur, espacés de 1100 à 1200 mètres, et laissant un espace libre de 120 mètres du côté opposé. Le talweg, au lieu de suivre la rive près laquelle on avait voulu le maintenir, a continué à se déplacer et a pris une direction nouvelle.

Pour améliorer la navigation, qui est très-imparfaite sur tout le cours de la Loire, on a cherché depuis, en encaissant le lit des basses eaux entre deux jetées de pierres perdues, à obtenir la profondeur que l'on n'a pas naturellement dans un lit sablonneux dont la pente est très-considérable. Mais la Loire, dont le volume est de 8000 à 10000 mètres en hautes eaux, et qui occupe alors un lit de 400 mètres de largeur encaissé entre deux digues, n'a, en temps d'étiage, que de 35 à 40 mètres; et un lit de 25 à 30 mètres lui suffirait avec sa pente de $0^m,0004$ à $0^m,0005$ par mètre. De sorte que ne pouvant pas élever les jetées au-dessus des bancs de sable, c'est-à-dire à plus de $0^m,50$ à $0^m,60$ au-dessus de l'étiage, sans quoi ils formeraient des écueils lors des moyennes eaux, il arrive que cette cuvette, pratiquée dans un lit très-large, n'est pas toujours suivie par le principal courant ou talweg des grandes eaux, et que la rivière baissant, on trouve souvent abandonné le lit que l'on avait établi à grands frais.

Le resserrement du chenal a été employé sur la Moselle et sur la Meuse. Voici les principaux résultats obtenus sur cette dernière rivière. A Pépin, basse Meuse, le chenal, de 997 mètres de longueur, calculé pour 1 mètre de tirant d'eau avec un volume de 35 mètres (pente de $0^m,0006$), a donné 1 mètre pendant un étiage de 23 mètres, la vitesse à la surface étant de $1^m,10$, ou la vitesse moyenne de $0^m,90$, tandis que la vitesse calculée par la formule de Prony était de $1^m,30$. Ce chenal était creusé pour faire diminuer la pente du maigre de $0^m,39$; cet abaissement s'est étendu à 700 mètres, où il était encore de $0^m,36$. Ainsi, le niveau de la racle a sensiblement baissé horizontalement. Sol de gros galets formant poudings. La digue formée d'enrochements à pierres perdues. Un cheval traîne 15 à 20 tonnes avec une vitesse de 2500 mètres à l'heure.

Pour ménager les enrochements dans la construction des digues longitudinales, on a quelquefois creusé dans les bancs de sable deux fossés longitudinaux dont le produit était employé à former dans l'intervalle qui les séparait un bourrelet sur lequel reposait le couronnement de l'épi disposé en hérisson, tandis que la fondation de l'épi était formée par de simples enrochements jetés dans les fossés (*fig* 9, *Pl. I*).

Sur la Garonne et la Midouze, où les lits ont plus de largeur relativement à leur volume d'étiage et probablement plus de pente, on a relié les épis longitudinaux aux rives par des épis transversaux.

Sur la Garonne, on a établi des épis en charpente composés d'une ou de deux lignes de pieux enfoncés de 2 à 3 mètres dans le sol et reliés par des clayonnages (*fig.* 10 *et* 11, *Pl. I*). On a eu recours à ce moyen lorsque l'on a voulu redresser un chenal profond dans les points où il se trouvait 2 à 3 mètres de profondeur d'eau. Les *fig.* 11

*et* 12, *Pl. I*, donnent une idée de ce système de construction. Pour ménager les enrochements on a remblayé d'abord avec du gros gravier; on en a même rempli le coffre de l'épi double.

Ce mode de construction, fort dispendieux, a parfaitement réussi dans les endroits où la Garonne charrie, parce que l'intervalle entre l'épi et la rive voisine étant barré par des épis transversaux, il s'y fait des dépôts d'alluvions dans lesquels les clayons d'osier prennent racine et consolident l'épi après la destruction des pieux.

Lorsque pour améliorer la navigation d'une rivière l'on veut ouvrir un chenal artificiel, il faut en déterminer les dimensions au moyen des formules du mouvement permanent ou du mouvement uniforme, si le lit doit être régulier; mais pour l'emploi de ces formules, il conviendrait de connaître par expérience pour chaque nature de sol les valeurs des constantes $a$ et $b$.

Les valeurs de $a$ et de $b$ sur la Moselle, dont le fond est du gravier, sont les suivantes :

$$a = 0{,}0002380122 \quad ; \quad b = 0{,}003585526.$$

On sait que la nature du sol ou sa forme plus ou moins accidentée exerce une influence sur les vitesses et par conséquent sur les coefficients; il appartient à l'ingénieur d'apprécier cette influence par l'examen du cours de la rivière dont il s'occupe.

On a exécuté des travaux de resserrement du lit d'étiage simultanément sur plusieurs rivières de régimes différents; ils ont réussi pour les unes et ont échoué pour les autres; il est bon d'examiner les résultats obtenus dans les cas de succès.

Les chenaux artificiels sont particulièrement employés pour régulariser l'écoulement des eaux sur les hauts-fonds, pour les resserrer et obtenir ainsi une vitesse à peu près uniforme et une profondeur suffisante pour la navigation. Quand ce but est atteint, les bateaux montants ont à parcourir des racles dans lesquelles le halage est facile, puis des chenaux artificiels où la vitesse est considérable, la section faible et par conséquent le tirage plus fort. On a remarqué que sur la Sambre canalisée un cheval peut tirer un bateau chargé de 50 tonneaux en parcourant 2500 mètres à l'heure, et qu'un cheval de même force ne peut tirer dans les chenaux artificiels de la Meuse que 25 tonneaux avec cette même vitesse de 2500 mètres à l'heure. On voit donc que les chenaux font sur la Meuse le même effet que des rampes de $0^m{,}04$ par mètre sur une route où l'effort de traction serait $\frac{1}{25}$ du poids transporté. Ainsi, pour que le prix du halage ne soit pas doublé, il faut que les rapides aient assez peu de longueur pour que les chevaux puissent les franchir par un surcroît d'effort qui ne dépasse pas leurs forces. Sur la Meuse on a observé qu'il ne fallait pas excéder la longueur de 1 000 mètres et la pente de $0^m{,}0007$ par mètre dans les parties à fond de rocher, et de $0^m{,}0005$ à 0,0006 dans celles à fond d'argile ou de gravier.

Dans les exemples ci-dessus, la vitesse moyenne s'est trouvée de 1 mètre environ; cette vitesse n'a pas eu d'action sur les fonds de rocher, mais elle en a eu sur le sol à Dom-le-Mesnil, où il y a eu

affouillement, puis ensablement en aval. On a dû, pour remédier au défaut de profondeur, rétrécir le chenal au moyen d'enrochements, et pour prévenir les atterrissements, prolonger la digue submersible dans une direction à peu près rectiligne parallèle au courant, afin de supprimer l'espèce de remou qui se formait en aval du musoir de raccordement avec la rive. On a eu occasion de remarquer que l'on n'avait jamais d'atterrissement quand on pouvait pousser l'extrémité inférieure des digues submersibles jusque dans une fosse ou basfond.

Lorsque les chenaux artificiels se trouvent dans des parties concaves, on les dispose comme l'indique la *fig. 12, Pl. I*, c'est-à-dire qu'on les redresse autant que possible en remblayant l'espace *abcd* avec les produits du dragage exécuté dans l'emplacement du chenal, de manière à former un chemin de halage des basses eaux. Ce chemin, élevé à 1 mètre au-dessus de l'étiage, est suivi par les chevaux tant que la digue du large n'est pas couverte de 1 mètre de hauteur d'eau. Mais dès que le halage est atteint par les eaux, on est assuré que la digue est recouverte de 1 mètre, qu'ainsi les bateaux peuvent passer partout, et le halage se reporte alors sur le chemin préparé au-dessus des hautes eaux de navigation. Dans toutes les localités où les chenaux auraient dû avoir plus de 1000 mètres, ou une pente dépassant les limites indiquées plus haut, on a construit des barrages pour faire gonfler les eaux.

**Cas où le système de rétrécissement peut être appliqué avec avantage.** — Sur la Loire ce système paraît inapplicable, parce que le volume des eaux étant très-faible par rapport à la largeur du lit majeur, le chenal artificiel se comblerait au moment des crues, et les enrochements des digues formeraient des écueils pour les bateaux, à moins qu'on ne les rattachât aux rives par de nombreux épis.

Le lit de la Seine, dans son parcours de Paris à Rouen, offre un volume d'environ 120 mètres par seconde, et ne présente de rapides prononcés que sur quelques points; partout ailleurs la profondeur d'eau est d'environ 2 mètres. Si l'on voulait améliorer le rapide de Portvillier, par exemple, qui a $0^m,50$ de pente totale pour 1000 mètres de longueur ou $0^m,0005$ par mètre, nous trouvons en appliquant la formule du mouvement uniforme $RI = 0,00002456\, v + 0,0003655\, v^2$ qu'il faudrait donner au chenal artificiel une longueur de 40 mètres et une vitesse de $1^m,50$. Mais une vitesse moyenne de $1^m,50$ sur la Seine, fréquentée par des bateaux chargés de 600 tonneaux, produirait le même effet qu'une pente de $0^m,10$ par mètre sur une route ordinaire bien entretenue; et comme la navigation de la Seine au-dessous de Paris est tout ascendante, un travail qui aurait pour résultat de rendre, même en étiage, la remonte si difficile ne serait pas une amélioration réelle; les bateaux, il est vrai, pourraient être plus chargés, mais les attelages de chevaux seraient plus nombreux et plus coûteux, non-seulement en basses eaux, mais encore en eau moyenne. Les digues submersibles pourraient en outre devenir des écueils pour les bateaux au moment où elles seraient couvertes.

Il résulte des observations ci-dessus que les resserrements de lit

au moyen de digues submersibles peuvent être utilement employés sur les rivières à fond stable qui n'ont ni une trop forte pente ni un volume trop considérable; mais ils ne sont pas applicables sur les rivières à fond mobile, ni sur celles qui fournissent à l'étiage un très-grand volume, et qui, déjà navigables, ne peuvent être améliorées qu'en y créant des chenaux très-profonds.

On ne peut pas non plus faire des resserrements sur les cours d'eau dont le volume serait trop faible pour alimenter un chenal navigable, ou sur ceux qui auraient une pente très-forte.

### BARRAGE DES BRAS SECONDAIRES.

Quand le cours d'une rivière se divise en plusieurs bras, le tirant d'eau est souvent trop faible pour la navigation, il importe alors de l'accroître; pour cela on a recours au barrement de l'un de ces bras pour forcer, en étiage, toutes les eaux à se porter dans celui que l'on destine à la navigation. Cette opération entraîne en amont un gonflement dans le bras unique; on ne devra donc exécuter un travail de cette nature qu'après s'être assuré qu'il n'en résultera pas un accroissement appréciable dans la hauteur des crues nuisibles.

Dans l'exécution des travaux, il faut éviter les affouillements, et par suite la destruction des ouvrages commencés; on y parviendra en défendant le fond du lit dans toute sa largeur avant de faire aucun travail qui ait pour conséquence un gonflement sensible du niveau de l'eau. Quand cette précaution est prise, on élève le barrage à peu près uniformément sur toute sa longueur, en ayant soin de garantir ses enracinements dans les rives, pour qu'ils ne soient pas tournés quand le gonflement devient considérable.

Dans les lieux où les moellons sont abondants et par conséquent de peu de valeur, on peut les employer avec succès. Dans ce cas, si *abcd* (*fig.* 13, *Pl. I*) est la section du barrage projeté, on pourra économiser le moellon en commençant le travail par l'exécution de deux bourrelets en moellons *aef*, *ghd*, et en remplissant ensuite l'intervalle *efgh* avec du sable ou gravier. La hauteur des bourrelets doit être calculée de manière que la vitesse de l'eau passant sur ce premier travail ne soit pas assez forte pour entraîner la matière du noyau.

Dans les localités où le moellon est rare, on a employé le bois et le gravier; on a fait des paniers coniques avec du saule, du coudrier, etc.; on a ménagé dans ces paniers une ouverture de $0^m,20$ sur $0^m,30$ pour pouvoir les remplir de gravier; le panier rempli, on en a fermé l'ouverture, puis on a employé ces paniers qui ont remplacé les moellons pour faire le barrage.

On emploie également des saucissons bourrés de gravier.

Voici de quelle manière M. Defontaine, inspecteur général des Ponts et Chaussées, s'y prit pour exécuter sur le Rhin, avec des matériaux pareils à ceux que nous venons d'indiquer, plusieurs barrages, notamment celui du Rankoff.

Pour barrer le bras dit le Rankoff, après avoir formé un seuil de 25 mètres de longueur et $1^m,80$ de hauteur, à l'aide de paniers et de

saucissons, on a enfoncé dans la direction du barrage deux lignes de pieux éloignés alternativement de 2m,32 et de 1 mètre dans le rang d'aval, de 3m,32 dans celui d'amont et de 1m,85 d'un rang à l'autre. Ces pieux, enfoncés de 4 mètres à 4m,50, s'élevaient à peu près à la hauteur des moyennes eaux et étaient reliés par des moises simples.

Pendant que l'on enfonçait les pieux, on construisait des claies en fascines sur les rives; le battage terminé, on a amené sur des bateaux ces claies en amont de l'emplacement du barrage, et mises à flot, on les a dirigées dans les cases formées par les pieux. Ces claies étaient composées de fagots d'osier déliés, étendus et coupés dans la forme voulue sur un métier disposé exprès et portant des perches perpendiculaires à la direction de la claie. Lorsque l'on avait ainsi donné à la claie une épaisseur d'environ 0m,30, on plaçait au-dessus d'autres perches correspondant aux premières, et en reliant par des harts les perches opposées, on donnait la plus grande solidité à la claie. Une fois taillée et serrée, on plaçait dessus, dans le sens transversal, un saucisson ou fort fagot que l'on fixait à l'aide de piquets de 1m,30 à 1m,40 de longueur.

Lorsque la claie, soutenue sur deux bateaux, était arrivée dans la position qui lui était destinée, on l'immergeait, puis on jetait sur cette claie le gravier approvisionné pour cela dans les bateaux, et on la chargeait ainsi jusqu'à ce que sa pesanteur spécifique fût suffisante pour la faire submerger. Le saucisson placé sur la claie avait le double but de recevoir la butée des pieux du rang d'aval et de retenir le gravier pour qu'il ne fût pas entraîné par les eaux après l'immersion.

La claie échouée, on continuait à jeter du gravier de manière à élever le sol en amont et à le recouvrir en aval du saucisson. On formait ainsi un lit de claies, sur la largeur du bras, puis un second et ainsi de suite. Mais comme par ce travail la section se trouvait diminuée de manière à accroître la vitesse, le fond se serait affouillé en aval, si on ne l'avait pas préalablement défendu contre cette corrosion. On employait pour cela des saucissons bourrés de gravier et des paniers coniques.

Au moyen des claies et des enrochements en paniers coniques, en saucissons et en moellons, on est parvenu à élever le travail jusqu'à 0m,80 au-dessus de l'étiage, malgré la difficulté résultant de la chute de 1m,80 qui s'était alors établie de l'amont à l'aval. On avait alors employé 281 claies, 7106 saucissons ou paniers coniques, 1284 mètres cubes de moellons et 10839 mètres cubes de gravier.

Pour terminer le travail, on a procédé d'une autre manière en marchant des deux rives vers le milieu du barrage, et les nouvelles couches ainsi exécutées ont été faites en tunages.

On donne le nom de *tunages* à un massif formé de lits de fascines fortement liées entre elles par des clayonnages, et chargées de gravier dans l'intervalle des lignes de clayons.

Pour exécuter les tunages, on se sert de fascines, de piquets et de clayons; on creuse dans la berge à laquelle on veut se rattacher une excavation rectangulaire de 4 à 5 mètres de largeur et de 5 à 10 mètres de longueur, descendue jusqu'au niveau de l'eau, et des-

tinée à recevoir ce que l'on nomme l'enracinement. C'est du milieu de cet enracinement que part le tunage (*fig.* 14, *Pl. I*, *et fig.* 15, *Pl. II*). On le commence avec des fascines accouplées deux à deux au moyen de harts flexibles qui les relient vers leur troisième lien. Ces deux fascines ainsi liées sont jetées à l'eau vis-à-vis le milieu de l'enracinement, après qu'on a écarté d'environ 2 mètres les gros bouts qui s'appuient sur la berge à fleur d'eau, tandis que les extrémités s'étendent en flottant dans le courant. Pour les maintenir dans cette position, on les fixe chacune au moyen d'un piquet placé en avant de la première hart et enfoncé dans la berge de manière à conserver $0^m,10$ de saillie dans la fascine. A côté de ce premier couple, on en place un autre à l'amont, puis un troisième, en les fixant toujours avec des piquets. Cela fait, on lance à l'amont une septième fascine suivant une direction inclinée par rapport au courant, de sorte que sa tête s'appuie sur la berge un peu au-dessous de l'eau, et son extrémité vers la troisième hart du dernier couple de fascines. Cette fascine est fixée par deux piquets, le premier en avant de la première hart, et le second à la rencontre des fascines accouplées.

On pose ensuite une autre fascine perpendiculaire à la rive, et s'appuyant sur les dernières fascines posées à leur point de rencontre, où l'on enfonce un piquet. Un autre piquet est battu en avant de la première hart; cette fascine est croisée par une autre $x$, qui est également piquetée. A la suite de ce nouveau couple de fascines, on en place d'autres que l'on dispose en éventail, de manière à former en avant de l'enracinement une nappe flottante qui constitue le premier lit de la couche de fondation.

Sur ce lit on en place un second de fascines, disposées également en éventail et rangées avec soin, qu'on fixe chacune par un piquet placé en avant de la première hart. Lorsqu'elles sont ainsi rangées et fixées, on plante sur ce second lit quatre rangs de piquets : le premier est placé à $0^m,50$ du gros bout des fascines, les autres en sont éloignées de $0^m,75$. Les piquets sont espacés de $0^m,50$ les uns des autres dans un même rang. Dans ces lignes de piquets, qui ne sont enfoncés que de $0^m,80$, on enlace deux poignées de clayons qui passent alternativement l'un au-dessus de l'autre; ce n'est que quand la ligne est terminée qu'on achève l'enfoncement des piquets de $0^m,03$ ou $0^m,04$ au-dessus des clayons qu'on assure, comme les piquets, à coups de maillet.

Sur cette première couche de fondation, on en place une seconde qui commence à la première ligne de clayonnage et ne diffère de la première couche qu'en ce que les fascines croisées n'ont pas besoin d'être liées par une hart. On opère pour la seconde comme pour la première, puis on passe à la troisième couche qui ordinairement vient s'appuyer sur la troisième ligne de clayonnage de la deuxième couche. Les trois couches présentent alors la position indiquée *fig.* 16, *Pl. II*.

Quand le travail est arrivé à ce point, on pose dans l'enracinement une couche de fascines placées en long, les têtes dans le fond, puis d'autres en sens contraire qui viennent s'appuyer contre les gros

bouts des fascines de la seconde couche de fondation. La troisième couche en retraite sur la précédente vient se terminer aux têtes des fascines de la troisième fondation. Enfin celles du quatrième rang s'arrêtent au second clayonnage de cette troisième fondation. Douze cours de clayonnage avec gravier dans les intervalles consolident cette couche de correction et la relient aux précédentes.

On s'occupe alors de la quatrième fondation qu'on pousse en avant sur les précédentes, et que l'on dispose de la même manière. En même temps on commence, à partir de l'enracinement, une couche ordinaire (*fig.* 17, *Pl. II*) dont les fascines sont dirigées perpendiculairement à la direction de l'ouvrage à construire, les têtes en dehors. Ces fascines, serrées les unes contre les autres, sont reliées par des lignes de clayonnage normales à la direction des fascines et ensuite chargées de gravier.

L'étendue de l'épanouissement doit être proportionnée à la profondeur et à la rapidité du courant auquel l'ouvrage doit résister. Il en est de même de la longueur du tunage en couronnement. Cependant on ne donne jamais moins de $4^{m},50$, longueur des fascines.

Dans le barrage de Raukoff, on fit deux tunages parallèles, le premier pour arrêter les eaux, le second pour former une espèce de seuil ou radier, dans le cas d'une crue où les eaux auraient dépassé le premier. Pour dresser la surface intermédiaire, on faisait marcher le premier de 15 à 20 mètres d'avance sur le second, de façon à pouvoir sonder facilement en aval et régulariser les enrochements avec de petits moellons. On est parvenu à se rejoindre ainsi après être parti des deux rives, et on a relié encore les ouvrages par des clayonnages en diagonale. Un barrage ainsi exécuté ne doit pas être totalement insubmersible, car il doit livrer passage aux eaux chargées de matières en suspension qu'elles doivent déposer dans le bras barré. Ce dépôt sera encore facilité en exécutant de distance en distance des barrages qui diminueront la vitesse de l'eau.

L'échouage des paniers et des saucissons se faisait au moyen d'un équipage formé de deux bateaux entre lesquels se trouvait un plancher à bascule. Dans l'exécution de cet ouvrage, on a employé simultanément, pour obtenir une base solide, les enrochements en moellons, les paniers de diverses formes remplis de gravier et les claies échouées contre les deux rangs de pieux battus pour les recevoir.

## AMÉLIORATION DES RIVIÈRES EN DIMINUANT LEUR PENTE.

Lorsqu'une rivière dans ses basses eaux n'a pas une profondeur suffisante pour la navigation, on y remédie en pratiquant des retenues d'eau de distance en distance; par ce moyen les eaux sont élevées au-dessus de leur niveau naturel, la pente est moindre et la profondeur est plus grande. Mais en élevant le niveau des eaux en certains points, on crée des chutes qui, à leur tour, accélèrent la vitesse au moment où l'eau les franchit. Lorsque la chute n'est pas trop considérable, on peut encore faire remonter les bateaux malgré l'espèce de cataracte qui se forme dans le passage réservé pour

l'écoulement de l'eau, et que l'on dispose de manière à être ouvert ou fermé à volonté.

On donne à ces sortes de passages le nom de *pertuis*, de *porte marinière* ou de *passelis*. Souvent ils sont dangereux, et alors il faut leur substituer des écluses à sas, dans lesquelles la descente et la remonte des bateaux se font sans aucune difficulté ni danger. Ces écluses sont formées de deux fermetures propres à soutenir également la retenue de l'eau, et éloignées d'une longueur nécessaire pour contenir un ou plusieurs bateaux dans l'intervalle qui les sépare et que l'on nomme *sas*.

Nous allons examiner les différents systèmes de barrages, de pertuis et d'écluses qui ont été employés jusqu'à ce jour, en nous arrêtant principalement sur ceux que l'expérience a fait préférer.

### BARRAGES.

Les barrages sont de deux espèces : les barrages fixes et les barrages mobiles. Les barrages fixes sont des ouvrages en charpente ou en maçonnerie qui sont destinés à résister à la poussée de l'eau ; leur hauteur doit être telle que l'eau, en les surmontant pour s'écouler, s'élève au niveau que réclament les besoins de la navigation. Les barrages mobiles doivent être construits de manière à pouvoir être déplacés au besoin, et alors les chutes disparaîtront.

**Barrages fixes.** — Les premières conditions auxquelles les barrages fixes doivent satisfaire sont les suivantes :

1°. Les obstacles permanents apportés à l'écoulement des eaux ne doivent pas nuire aux propriétés situées en amont.

2°. La profondeur de l'eau doit être suffisante pour assurer le passage des bateaux sur les hauts-fonds, et pour diminuer l'excès de vitesse qui nuirait à la navigation.

3°. Les barrages doivent être établis un peu au-dessous des points où la navigation est le plus gênée, soit par le peu de profondeur d'eau, soit par une accélération du courant due à un grand excès de pente; ils doivent de plus améliorer les parties supérieures, s'il en existe en amont, où la navigation soit entravée, et ne pas noyer les usines qui peuvent exister sur les affluents des cours d'eau que l'on veut rendre navigables.

MM. Bélanger et Vauthier, ingénieurs des Ponts et Chaussées, ont cherché quelle est l'influence d'un barrage sur l'amélioration de la navigation en amont et sur les usines existantes, et quelle est la forme qu'affecte la surface de l'eau à partir de ce barrage jusqu'au point où son influence cesse de se faire sentir. M. Poirée, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a fait usage d'une formule très-simple pour calculer l'effet d'un barrage sur la surface des eaux en amont. Il a supposé que la surface de l'eau en amont d'un barrage prenait la forme d'une parabole dont le sommet était sur la verticale passant par le seuil du barrage, et qui devenait tangente à la surface de l'eau en amont. AB (*fig.* 18, *Pl. II*) étant la hauteur de l'exhaussement près du barrage, et C le point où la parabole se raccorde avec la surface de la rivière, si l'on mène l'horizontale CD,

elle doit venir rencontrer la verticale AB en un point D à une hauteur AD = AB = $h$, puisque dans la parabole la sous-tangente BD est double de l'abscisse AD. D'un autre côté, si $i$ est la pente de la surface de l'eau, on aura $i \times DC = BD = 2h$, et par suite $DC = \frac{2h}{i}$. L'équation de la parabole est de la forme $x^2 = py$; elle doit être satisfaite par $x = DC = \frac{2h}{i}$ et $y = h$, d'où on déduit $\frac{4h^2}{i^2} = ph$ et $p = \frac{4h}{i^2}$. L'équation de la parabole est donc $x^2 = \frac{4h}{i^2}y$. Il est facile d'en calculer les ordonnées, et par suite de tracer la courbe du remou.

**Direction à donner au barrage. — Ses dimensions.** — Si la direction du barrage était normale au lit de la rivière, on voit que la section se trouverait diminuée de toute la surface que le barrage présenterait au-dessus du fond, et qu'en général il en résulterait une diminution de section telle, que dans les grandes eaux le niveau s'élèverait beaucoup plus que dans l'état primitif.

On supposait, il y a quelque temps, que quelle que fût la direction, il en serait toujours de même, parce que chacun des filets fluides venant à son tour rencontrer le barrage, que ce fût plus tôt ou plus tard, le remou n'en devait pas moins être le même. Pour décider cette question, M. Mary, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a fait plusieurs expériences desquelles il résulte que le débit est à peu près proportionnel à la longueur du barrage. Mais un barrage biais, disposé en écharpe comme *abc* (*fig.* 19, *Pl. II*), rejette le courant, animé de la vitesse que produit la chute, sur l'une des rives, et il la corrode nécessairement. M. Mary a essayé si un barrage *abd* de même longueur que *abc*, mais disposé en chevron brisé, aurait le même débit ; il n'a pas trouvé de différence appréciable. C'est donc cette forme qu'il conviendra de préférer, parce que les courants opposés venant des deux parties du barrage se choquent au milieu du lit et n'attaquent pas les rives, mais seulement le fond, qui, dans tous les cas, doit être défendu contre les affouillements. Cependant il ne faudrait pas que l'angle fût trop prononcé, parce que les deux nappes, en se rencontrant pour ainsi dire face à face dans les eaux moyennes, formeraient une intumescence qui gênerait l'écoulement sur le barrage même et pourrait accroître le remou en amont.

Soit $z$ la hauteur de la retenue au-dessous du sommet ou seuil du barrage, L la longueur du réservoir, $m$ un coefficient numérique, la valeur de Q est donnée par la formule $Q = mLz\sqrt{2gz}$, en n'ayant pas égard à la vitesse que peut avoir le courant en amont du réservoir. Si cette vitesse était assez considérable pour qu'on dût l'introduire dans la formule, celle-ci deviendrait $Q = mL(z + h)\sqrt{2g(z + h)}$, $h$ étant la hauteur due à cette vitesse. Mais ordinairement on se sert de la formule précédente, parce que les barrages de la navigation ne sont fermés que pendant les basses eaux, et qu'alors la vitesse

est sensiblement nulle en amont. En réunissant les coefficients numériques, cette formule devient $Q = m\sqrt{2gL}\,z^{\frac{3}{2}}$; la valeur de $m$ peut varier de 0m,360 à 0m,443, suivant la forme de la crête du barrage et suivant la hauteur de la retenue au-dessus de la crête; mais dans le cas actuel d'un barrage très-long, on devra prendre $m = 0{,}433$ et on aura $Q = 0{,}443 \times \sqrt{2gL}\,z^{\frac{3}{2}} = 1{,}96\,L\,z^{\frac{3}{2}}$. Connaissant le volume Q à écouler, la longueur L du barrage, on en tire $z = \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{1{,}96^2L^2}$.

Il faut chercher maintenant la hauteur à laquelle les eaux commenceront à nuire aux propriétaires riverains, et quel remou le barrage produira. Appelons H la hauteur de l'eau d'aval sur le seuil et $z$ la chute produite par la diminution de section qui résulte du barrage (*fig.* 20, *Pl. II*). Lorsque $z$ est petit par rapport à la hauteur H, il en résulte, sans erreur sensible, que la section d'écoulement est égale au produit de la largeur par la hauteur H, et que la vitesse est produite par la chute $z$, augmentée de la hauteur due à la vitesse du courant que nous appellerons $h$; l'on aura ainsi la dépense par mètre de longueur de barrage égale à $mH\sqrt{2g(z+h)}$; La valeur du coefficient $m$ est de 0m,80 approximativement.

Si la valeur de $z$ pouvait faire craindre une aggravation dans les inondations, on devrait augmenter la longueur du déversoir.

Quelquefois on a fait des barrages fixes avec de simples moellons jetés au hasard dans le lit de la rivière, mais ils présentent cet inconvénient, c'est que lors d'une crue, les eaux en s'élevant corrodent la rive et ne tardent pas à tourner le barrage qui devient alors plutôt nuisible qu'utile; d'ailleurs les moellons étant continuellement roulés par les eaux en aval, il faut souvent ajouter de nouveaux enrochements pour maintenir le barrage à la hauteur voulue, opération qui élève considérablement le prix d'entretien. Ces sortes de barrages doivent donc, pour plus de sûreté, être construits en maçonnerie; et on leur donne alors des formes très-différentes, en les disposant en aval à paroi verticale ou à paroi inclinée.

## BARRAGE A PAROI VERTICALE.

Les barrages à paroi verticale sont formés d'un massif en maçonnerie d'une épaisseur égale à peu près à la chute; le parement d'aval est vertical, mais celui d'amont est disposé en talus ou par retraites, de manière à augmenter son empatement et à empêcher les filtrations sous la fondation; on y forme en outre un remblai en terre argileuse *ab* que l'on défend contre la corrosion de l'eau en le recouvrant de moellons (*fig.* 21, *Pl. II*).

On les construit ordinairement entre deux files de pieux et palplanches; et afin de consolider les fondations, on drague et l'on coule une couche de béton au-dessous du fond de la rivière pour enraciner la construction. Lorsque le sol est de la roche dure et

qu'il est impossible d'y battre des pieux, on immerge le béton comme il a été dit pour la fondation des piles d'un pont.

Les barrages à paroi verticale sont exposés aux affouillements; dans les eaux moyennes, lorsqu'un volume d'eau considérable tombe avec une chute marquée, il se forme un tourbillon dont les effets sont souvent désastreux. Pour y remédier, on a essayé de construire, en aval de ces barrages, des radiers que l'on a prolongés jusqu'à 11 ou 12 mètres en aval; mais le tourbillon s'est produit au delà du radier, et l'affouillement s'y est formé, de sorte que l'extrémité du radier manquant d'appui, l'affouillement gagna le pied du barrage qui finit par être détruit.

### BARRAGE A PLAN INCLINÉ.

D'après ce que nous venons de dire, on a dû renoncer aux barrages à paroi verticale lorsqu'on ne peut pas les établir sur un rocher assez résistant pour n'avoir pas à redouter les affouillements; on les remplace par des barrages à paroi inclinée; les uns, comme dans la *fig*. 22, *Pl. II*, ont leur sommet arrondi et leur paroi d'aval disposée en doucine; les autres, comme dans la *fig*. 23, *Pl. II*, sont disposés en doucine; dans ces deux cas l'appareil est très-dispendieux, car les pierres extérieures présentent un parement vu plus grand que la face opposée, et ne résistent que par leur poids et par la parfaite liaison que le ciment établit entre elles, ce qui exige des joints taillés avec le plus grand soin.

On a cherché à remplacer ce système de construction si coûteux par des barrages formés d'une carcasse en charpente qui maintient les moellons et libages du massif destiné à retenir les eaux. La carcasse en charpente se compose (*fig*. 24, *Pl. II*) : 1° d'une file de pieux *ab*, reliés par des moises doubles placées au sommet du barrage et lui servant de seuil; 2° d'une file de palplanches jointives également reliées par des moises doubles placées immédiatement au-dessus de l'eau inférieure; 3° de liernes qui relient les rangs de pieux formant seuil avec la file de palplanches d'aval.

Le massif du barrage est formé de moellons de grosses et de petites dimensions, entremêlés de manière à ne laisser aucuns vides. Mais l'on a réservé les moellons les plus gros pour les deux glacis ou talus, surtout pour celui d'aval; on les range par assises et on les pose de manière que ces assises, sans être réglées, remplissent exactement l'intervalle entre les deux rangs de moises.

Quoique ces barrages soient moins exposés à être détruits que les barrages à paroi verticale, cependant ils pourraient être également emportés si l'on ne prenait aucune précaution pour empêcher les affouillements : on prévient la corrosion du fond en formant à l'aval un enrochement en pierres perdues, dans lequel on enfonce en quinconce des petits pieux dont la tête dépasse la surface de l'enrochement, de manière que l'eau vient se briser contre ces pieux et perd sa vitesse avant d'agir sur le fond naturel, et les pieux empêchent l'entraînement des pierres de l'enrochement. Si l'eau n'était pas assez profonde pour que l'on pût former l'enrochement sur

$0^m,60$ à $0^m,70$ d'épaisseur et conserver encore une hauteur d'eau au moins égale au-dessus de l'enrochement, il faudrait draguer le sol avant d'enfoncer les piquets et d'exécuter l'enrochement.

Il faut, pendant la construction du barrage, avoir le soin de laisser un débouché suffisant pour l'écoulement des eaux; on exécutera en conséquence un pertuis ou une écluse à sas avant le barrage. Toutefois il pourrait arriver que l'écluse à sas n'offrant pas un débit suffisant pour les basses eaux, il faudrait en outre établir un pertuis pour rendre aux eaux un libre cours et les ramener à leur ancien niveau, afin de réparer les ouvrages pendant les chômages, comme cela a servi lors de la construction du barrage.

## BARRAGES MOBILES.

On a imaginé une foule de systèmes pour les barrages mobiles; nous ne nous occuperons que de ceux qui sont les plus usités.

**Barrages à poutrelles.** — L'idée qui se présente tout d'abord, pour faire un barrage qui puisse s'enlever à volonté, est d'appuyer sur des piles ou sur des poteaux verticaux des poutrelles bien dressées, placées les unes sur les autres en nombre suffisant pour fermer l'écoulement à l'eau jusqu'à la hauteur à laquelle on veut la retenir (*fig.* 25 *et* 26, *Pl. II*).

Des poutrelles qui auraient plus de 4 à 5 mètres de longueur seraient difficiles à manœuvrer; il faudra donc leur donner pour points d'appui des culées en maçonnerie, avec des piles intermédiaires quand l'ouverture des barrages dépassera cette longueur.

Les figures 25 et 26 indiquent la disposition ordinaire de ces barrages; les culées et les piles sont disposées comme dans un pont, mais elles sont reliées par un radier général; les extrémités des poutrelles sont engagées dans des coulisses creusées dans les faces verticales, près des avant-becs. Afin de pouvoir manœuvrer ces poutrelles, on creuse sur les faces supérieures et aux deux extrémités, c'est-à-dire dans la partie engagée dans les coulisses, des mortaises à travers lesquelles on fait passer un goujon en fer sous lequel on engage un crochet *a* (*fig.* 27, *Pl. III*) avec lequel on les pose et on les enlève. Mais comme la manœuvre d'enlever les poutrelles une à une est fort longue, on a quelquefois recours à des dispositions plus expéditives. On peut, par exemple, faire une des coulisses assez profonde et assez large pour que, en poussant les poutrelles dans ce surcroît de profondeur, elles cessent de porter dans la coulisse opposée; alors, pour les y ramener, on se sert d'un levier *ab* (*fig.* 28, *Pl. III*) que l'on introduit entre le fond de la coulisse et l'extrémité de la poutrelle coupée en biseau pour lui ménager l'entrée.

Il faut empêcher les poutrelles de s'échapper d'elles-mêmes des coulisses; pour cela on place une pièce de bois verticale *a* pour garnir le fond de celle qui est la plus creuse (*fig.* 29, *Pl. III*).

Il importe quelquefois de faire partir toutes les poutrelles à la fois pour produire une espèce de chasse; pour remplir cette condition, l'on appuie l'une des extrémités des poutrelles sur un poteau demi-cylindrique *a* (*fig.* 30, *Pl. III*), mobile autour de son axe, en ayant

soin qu'elles ne s'avancent pas tout à fait jusqu'à cet axe ; la pression qu'elles exercent tend à faire tourner le poteau ; mais il est facile de résister à cet effort, dont le bras de levier n'a que $0^m,02$ au plus, au moyen d'un long bras de levier fixé fortement à la tête du poteau. Pour que les poutrelles ne s'avancent pas jusqu'à l'axe du poteau pendant leur mise en place, on a dans le fond de la coulisse une pièce verticale que l'on enlève après qu'elles sont posées. Quand on veut lâcher les poutrelles, on laisse faire au poteau un quart de révolution, de manière à le loger entièrement dans la maçonnerie, et toutes les poutrelles s'échappent à la fois.

**Barrages à vannes.** — Le barrage à vannes exécuté sur la Seille, à son embouchure de la Saône, est composé de neuf pertuis de $4^m,22$ de largeur, séparés par des piles de $1^m,50$ de largeur ; six de ces piles n'ont que $2^m,50$ de hauteur et se trouvent couvertes de plus de $1^m,50$ par les crues ; les deux autres piles et les culées sont insubmersibles.

L'un des pertuis est fermé par trois vannes appuyées contre quatre poteaux verticaux et manœuvrés au moyen de treuils à levier. Ce qui distingue ce barrage, c'est : 1° la fermeture d'un pertuis insubmersible avec des vannes, tandis que les autres passages fermés avec des poutrelles sont insubmersibles ; 2° le mode de soutien des poutrelles.

Les vannes sont logées dans une feuillure pratiquée sur l'arête d'amont des poteaux verticaux ; elles servent à régulariser le niveau de l'eau, leur manœuvre étant beaucoup plus facile que celle des poutrelles.

Les poutrelles sont disposées comme il suit dans les autres pertuis : elles sont appuyées d'un bout dans une des coulisses, tandis que l'autre extrémité porte contre un poteau vertical *a* (*fig.* 31 et 32, *Pl. III*) appuyé du haut contre un verrou *b* et maintenu du bas par un axe de rotation *c*. Pour rendre la manœuvre facile, les poutrelles sont peu engagées dans la coulisse, et on a arrondi leur arête d'amont, tandis que du côté du poteau mobile elles sont tout à fait en dehors de la coulisse. Toutes sont fixées par des chaînes d'une manière indépendante les unes des autres. Quand on veut ouvrir un passage, on chasse à coups de marteau le verrou *b*, et l'appui supérieur venant à manquer au poteau *a*, les poutrelles entraînées par la poussée de l'eau s'échappent en aval, mais non toujours sans danger, car la violence de l'eau les brise quelquefois en les faisant frapper contre la pile à laquelle les chaînes les maintiennent.

Le pont de service doit être enlevé chaque fois que l'on redoute une crue ; il en résulte donc un travail considérable, outre que si la hausse des eaux est rapide, des madriers sont souvent entraînés et perdus. La pose des poutrelles est très-laborieuse ; il faut une journée entière de travail pour les replacer dans les sept pertuis. Cela tient à ce que les poutrelles sont méplates et à ce qu'elles ne sont pas engagées dans des coulisses, de sorte que pour les mettre en place, on est obligé de les tirer en amont contre le courant, puis de les laisser revenir à leur place en engageant d'abord l'extrémité op-

posée au poteau; mais dans cette manœuvre les poutrelles se mettent à plat, la chaîne s'engage par-dessous, et il faut recommencer. On n'a pu remédier à cet inconvénient qu'en les soulevant avec des cordes et les laissant descendre en place. Il serait impossible de placer de suite toutes les poutrelles d'un passage, parce qu'elles ne sont maintenues contre le poteau que par la pression, et qu'il faut laisser la retenue se former, de sorte qu'on en place successivement deux ou trois dans chaque passage pour recommencer ensuite à mesure que l'eau s'élève en amont.

**Barrages à fermettes mobiles.** — M. Poirée, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a fait exécuter sur la Loire et sur la Seine un système de barrage qui permet de barrer une rivière, quelle que soit sa largeur, sans piles intermédiaires, et de rendre à la rivière son cours naturel aussitôt que le besoin s'en fait sentir. Son barrage consiste en une suite de fermettes mobiles espacées de mètre en mètre, et disposées de telle sorte qu'elles puissent être reliées les unes aux autres par des entretoises placées à leur partie supérieure du côté d'amont, ou renversées sur le radier de manière à laisser un libre cours aux eaux. Des aiguilles s'appuient sur les entretoises et sur un seuil en bois fixé au radier (*fig.* 33, *Pl. III*).

Les fermettes sont fixées par le pied au moyen de deux tourillons placés aux extrémités de la traverse inférieure, et s'engagent dans des espèces de crapaudines en fonte, fixées aux pièces longitudinales d'un châssis en bois encastré dans le radier. Chaque fermette se compose de deux traverses : l'une supérieure, l'autre inférieure; de deux montants, l'un vertical du côté d'amont, l'autre incliné; enfin d'un bracon; toutes ces pièces sont soudées et n'en forment ainsi qu'une seule.

Au barrage de Besons sur la Seine, on a ajouté un second bracon qui est fixé avec des coins, et on a relié le montant d'amont au montant d'aval par une entretoise moisée, placée à mi-hauteur. L'une des crapaudines en fonte, celle d'amont, est simplement percée d'un trou rond pour recevoir le tourillon. Celle d'aval a la forme qu'indique la *fig.* 34, *Pl. III*. Derrière la longrine qui porte cette dernière, la coupe fait voir trois pièces traversées de croix de saint André. Ce sont les coins à l'aide desquels on fixe dans l'enclave du radier le châssis qui porte les fermettes. Ce châssis est taillé en queue d'aronde et les coins sont plus larges du bas que du haut.

Le châssis est formé de deux longrines reliées par autant d'entretoises qu'il y a de fermettes. La longrine d'aval *a* est indiquée sur la coupe (*fig.* 33), l'autre a la même forme, mais elle fait saillie de $0^m,10$ sur le radier pour recevoir le pied des aiguilles, et sur ces $0^m,10$ elle est défendue par une bande de fer fixée sur des vis à bois; les entretoises sont logées dans le fond de l'enclave, de sorte que quand les fermettes sont rabattues, elles se trouvent garanties par la saillie des longrines.

Chaque fermette est fixée à la précédente par une chaîne en fer assez longue pour que l'une puisse être couchée et l'autre redressée, sans que cette chaîne cesse de pendre verticalement au-dessous de

la fermette. La première des chaînes est attachée à l'une des culées, pour que de là on puisse relever le barrage, et la dernière fermette se rabat dans une niche pratiquée dans la culée opposée.

Le radier doit être exécuté avec le plus grand soin : les fondations sont établies entre deux files de palplanches que l'on enfonce en les maintenant avec des moises. Avant de couler le béton, on les fixe au moyen de deux liernes que l'on relie avec un tirant en fer. Pour faire descendre ce tirant sous l'eau, on ménage une petite coulisse dans une palplanche. Il faut élever le béton en amont et en aval, de manière à former deux petits batardeaux entre lesquels on peut exécuter à sec la maçonnerie avec tout le soin désirable. Les aiguilles verticales au moyen desquelles on ferme les passes sont des petites planchettes de 5 à 6 centimètres de largeur, portant une espèce de manche à la partie supérieure ; on les enlève facilement en les ramenant sur les aiguilles voisines qui supportent la pression de l'eau.

Lorsque la navigation se fait avec flot, la manœuvre du barrage doit se faire avec la plus grande vitesse possible, et pour cela on renverse successivement chaque fermette pendant qu'elle supporte encore la pression des aiguilles d'une des travées qui s'y appuient et qui tombent ainsi toutes à la fois.

Pour que l'on puisse faire cette manœuvre sans perdre les aiguilles, on les relie entre elles par travées au moyen d'une petite corde qui passe dans les poignées; les cordelles sont fixées à un câble amarré à la rive voisine en arrière du pont de service du barrage.

M. Poirée estime que ce système de fermeture ne peut pas être appliqué lorsque le niveau des eaux retenues doit s'élever à plus de 2 mètres ou $2^{m},10$ au-dessus du radier.

M. Mary, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a proposé, pour barrer le petit bras de la Seine au Pont-Neuf, un barrage mobile d'un système tout différent : il se compose d'un grand coffre rectangulaire ou bateau dont les parois latérales sont réunies à l'intérieur par un pont, et dans la largeur par des cloisons transversales. Ce bateau étant amené devant le pertuis et appuyé contre les piles ou culées des extrémités, on ouvre les vannes ménagées du côté d'amont, l'eau se précipite dans l'intérieur et force le bateau à descendre et à fermer par conséquent le pertuis. On a pratiqué devant le seuil une espèce d'appui, pour éviter de le faire descendre trop bas ; d'ailleurs l'eau monte dans l'intérieur, de manière à équilibrer exactement la pression inférieure. Lors d'une crue, l'augmentation de la sous-pression soulève le bateau sans aucune manœuvre, et l'écoulement a lieu au-dessous jusqu'à ce que la hauteur de l'eau en amont et la pression diminuant, le bateau reprenne sa position primitive, de manière à fermer le passage aux eaux.

Si l'on voulait faire disparaître la fermeture, il suffirait de vider le bateau qui s'élèvera insensiblement au-dessus du niveau d'aval en prenant une position légèrement inclinée. Lorsqu'il descend, il prend au contraire, en vertu des pressions de l'eau, une position inclinée en sens inverse.

Pour diminuer les frottements du bateau contre les piles ou culées,

on a interposé entre les deux un système de galets réunis par une chape et maintenus par un contre-poids. Ces galets, de 0m,25 de diamètre, roulent sur des plaques de fer forgé, et le frottement n'excède pas le centième de la pression.

M. Mary a expérimenté à Andrésy, avec un bateau de 36 mètres de long, divisé en six compartiments. Ce bateau est revenu à 36000 fr., c'est-à-dire beaucoup plus cher qu'un barrage à aiguilles, dont le prix n'excède pas 2 à 300 fr. le mètre linéaire. Mais le bateau peut soutenir des chutes beaucoup plus considérables que 1m,50 à 1m,60, limite supérieure pour les barrages à aiguilles; de plus la manœuvre en est beaucoup plus facile, plus prompte et moins dangereuse.

Le bateau est formé d'une caisse en bois établie au moyen de traverses inférieures dans lesquelles s'assemblent les montants des parois verticales. Pour que celles-ci puissent résister à la pression énorme de 1600 kilogrammes par mètre carré environ, pour une chute de 1m,80, on a placé sur le fond et sous le pont deux poutres formant une ferme qui transmettent la pression aux extrémités du bateau, c'est-à-dire contre les piles ou culées qui lui servent d'appui; en outre, des pièces de bois en diagonale sont placées dans chaque case, et pour éviter l'affaiblissement à leur rencontre, on les a réunies dans une pièce en fonte munie d'amorces pour les recevoir; de cette manière on a obtenu un bateau d'une parfaite rigidité.

Pour ouvrir le barrage, on fait tourner le bateau autour d'une de ses extrémités. Il y a, à cet effet, un axe en fer forgé fixé à l'angle du bateau, qui vient se loger dans une masselotte en fonte placée dans la culée. On le fait pivoter autour de cet axe en se servant d'un cabestan placé à l'autre extrémité et tirant une corde attachée à un point fixe sur la berge. Cette corde passe sur une poulie de renvoi afin de doubler encore la force du cabestan.

## PERTUIS, BARRAGES A FERMETTES; ÉCLUSES A SAS.

Lorsque les eaux sont élevées au moyen des barrages dont nous venons de parler, la navigation ne peut se faire qu'autant qu'elle pourra communiquer entre les eaux supérieures et les eaux inférieures. On peut arriver à cette communication ou par la suppression momentanée de la retenue ou au moyen d'écluses à sas.

**Navigation au moyen de pertuis.** — La navigation se sert des pertuis à aiguilles et à poutrelles accolés aux barrages fixes; mais il y a souvent danger, parce que les bateaux, au moment où ils franchissent la chute, ne sont pas immergés également sur toute leur longueur, et qu'ils tendent ainsi à se rompre; ils sont en second lieu entraînés par un courant rapide qui les détourne de la direction qu'ils doivent suivre, de manière qu'ils choquent soit les bajoyers des pertuis, soit les rives en aval. Enfin il y a quelquefois trop peu d'eau en aval, et alors ils touchent le fond du lit et se brisent.

La navigation est quelquefois en souffrance, parce que, les pertuis n'étant pas toujours ouverts, il faut que les bateaux attendent le moment de l'ouverture pour passer; de plus les retenues et les lâ-

chures que l'on est obligé de faire absorbent les eaux dans les parties de la rivière que l'on vide et dans celles où l'on empêche l'eau d'arriver pour former la retenue supérieure. Ces inconvénients sont d'autant plus grands que la chute soutenue par les barrages est plus considérable et que le volume d'eau retenu est moindre, puisque la vitesse est très-grande dans les premiers moments et que la retenue se vide très-rapidement et s'emplit lentement.

**Navigation au moyen des barrages à fermettes mobiles.** — Il y a cependant des localités où l'on peut appliquer sans inconvénient un système de navigation au moyen de lâchures. Ainsi, par exemple, sur l'Yonne, on a fait l'essai d'un système d'amélioration qui consiste à échelonner les uns à la suite des autres des barrages à fermettes mobiles de M. Poirée, en nombre suffisant et convenablement espacés pour produire la profondeur d'eau nécessaire au flottage des trains et des bateaux.

Une commission spéciale a fait sur la partie de l'Yonne ainsi traitée, des expériences dont les intéressés, négociants et entrepreneurs de transports, se sont montrés très-satisfaits. Il résulte du procès-verbal des travaux de cette commission la constatation des faits suivants, relatifs aux barrages d'Epineau, de Péchoir et de Joigny.

Le barrage d'Epineau produit sur la base de l'écluse de la Roche, à l'embouchure du canal de Bourgogne, une hauteur d'eau de $1^{m},77$; quand les eaux sont relevées à $2^{m},10$ sur le seuil du barrage d'Epineau, les eaux étant retenues à $2^{m},26$ au barrage du Péchoir, à 2400 mètres en aval du barrage d'Epineau, donnent sur le seuil de ce dernier $1^{m},04$.

Lorsque les eaux sont à $2^{m},06$ en amont du barrage de Joigny, elles s'élèvent de $0^{m},92$ sur le seuil du barrage du Péchoir, situé à $4^{m},909$ en amont.

D'autres barrages, à Villeneuve-le-Roi et à Saint-Martin, sont trop éloignés l'un de l'autre et de celui de Joigny pour que le remou de l'un atteigne les autres. Ils ne servent qu'à retenir les eaux.

Les barrages étant ainsi disposés, on a ouvert à $2^{h}\,30^{m}$ une passe de 35 mètres dans celui d'Epineau; les bateaux et les trains de bois l'ont franchie et ont été portés par le flot d'eau ou éclusée produit par cette ouverture jusqu'au barrage du Péchoir, et ensuite jusqu'à celui de Joigny.

Arrivée à Joigny avec le flot, la commission a assisté au passage des bateaux dans la passe formée par l'abattage de 35 fermettes. Le premier bateau a franchi le barrage à $3^{h}\,30^{m}$, lorsqu'il y avait $1^{m},64$ de hauteur d'eau à l'amont et $1^{m},10$ à l'aval, c'est-à-dire sous l'influence d'une chute de $0^{m},54$. Le dernier bateau a traversé la passe avec les eaux à $1^{m},06$ en amont et $0^{m},86$ en aval.

A $6^{h}\,30^{m}$, quatre bateaux montants, marchant ensemble et ayant un tirant d'eau de $0^{m},46$, se sont présentés pour franchir le barrage; il y avait alors une chute de $0^{m},15$; les chevaux les ont traînés sans plus de difficultés qu'ils n'en éprouvent dans beaucoup de passages de la rivière. Plusieurs membres de la commission ont déclaré que quand les bateaux arrivent plus tôt, après l'ouverture des barrages, la remonte se fait sans temps d'arrêt sensible.

Au moyen des trois barrages convenablement étagés d'Epineau, de Péchoir et de Joigny, et des autres barrages de Villeneuve-le-Roi et de Saint-Martin, on a pu arrêter pendant 24 heures une éclusée, c'est-à-dire le volume d'eau qui résulte de la lâchure complète d'une des retenues d'amont, et quand on a fait écouler cette éclusée, en ouvrant successivement les barrages, on a obtenu pour la navigation une grande amélioration de cet aménagement des eaux.

Ainsi, d'après l'expérience de tous les mariniers, l'éclusée qui a été suivie par la commission n'ayant en hauteur, à Basson, à l'embouchure du Serain, en amont d'Epineau, que $0^m,58$, ne devait donner de Pont-sur-Yonne à Montereau que $0^m,51$ de hauteur d'eau. Modifiée par les barrages, cette éclusée a donné, dans l'intervalle susindiqué, $0^m,75$, c'est-à-dire $0^m,24$ de plus qu'elle n'aurait produit dans l'état naturel de la rivière.

D'un autre côté, une éclusée de même volume met en général 30 heures à parcourir la distance de la Roche à Montereau (92000 mètres); celle qui a servi à l'expérience n'a employé que 21 heures à franchir le même parcours, et a ainsi gagné 9 heures, ce qui a diminué d'autant la durée du voyage des bateaux.

On conçoit donc que le système de navigation dont on vient de parler est d'autant plus imparfait que l'on a moins d'eau à sa disposition, puisque l'éclusée est rapidement écoulée, et que l'on n'a pas le temps de faire passer un grand nombre de bateaux, surtout à la remonte. On a proposé, pour augmenter le volume des eaux de l'Yonne en étiage, de créer plusieurs réservoirs dans lesquels on accumulerait une masse d'eau très-considérable, de sorte que l'on pourrait accroître de beaucoup le volume des éclusées et améliorer ainsi la navigation.

Cependant, malgré les améliorations que les réservoirs pourront apporter à la navigation de l'Yonne supérieure, celle-ci sera encore imparfaite, si elle se fait en débouchant successivement les barrages comme nous l'avons vu; on y renoncerait donc probablement, à cause de la difficulté de la remonte des bateaux chargés, si cette voie navigable n'était pas consacrée à transporter vers Paris des bois, du granit, de la houille, du vin, etc. Mais avec cette navigation descendante, la rapidité du courant vient en aide aux bateliers et leur fournit la force nécessaire pour descendre, pourvu qu'ils ne soient pas exposés à échouer faute d'eau; c'est tout ce que le commerce actuel demande.

**Navigation au moyen d'écluses à sas.** — Pour remédier aux inconvénients d'une navigation par éclusée, on construit dans le voisinage de chaque barrage une écluse à sas. On a fait en France la première application de ces écluses au canal de Briare, puis au canal du Languedoc.

Une écluse à sas se compose (*fig.* 35 *et* 36, *Pl. III*) de deux écluses simples ou pertuis séparés par un intervalle que l'on nomme *sas*. La capacité d'un sas doit être telle qu'un seul bateau puisse y être renfermé; dans ce cas, les murs latéraux sont dans le prolongement des murs qui limitent la largeur des écluses et que l'on nomme *bajoyers*. Quelquefois les sas sont disposés pour recevoir plusieurs

bateaux à la fois, et alors les écluses d'amont et d'aval peuvent être placées d'une manière indépendante l'une de l'autre.

On se sert, pour fermetures d'amont et d'aval, de poutres doubles battant l'une contre l'autre, de manière que l'arête suivant laquelle elles se rencontrent fasse vers l'amont une saillie du cinquième et du sixième de la largeur du passage. Le tourillon de ces portes est logé dans un refouillement qui se prolonge vers l'amont, de manière à permettre au ventail entier de se loger dans l'épaisseur du mur, au moment où l'on veut livrer passage aux bateaux. Ce refouillement entier se nomme l'*enclave* de la porte, et la partie où s'appuie le poteau tourillon est le *chardonnet*. La pierre inférieure du chardonnet qui fait partie du radier et reçoit le pivot ou crapaudine de la porte se nomme *bourdonnière* ou *pierre de crapaudine*.

Pour que la porte puisse tourner facilement, elle ne doit pas porter du bas dans son mouvement de rotation, et cependant il faut empêcher l'eau de s'échapper au-dessous; on obtient ce résultat en construisant dans le radier de l'écluse une saillie suffisante pour que la porte puisse s'y appuyer. Cette saillie est disposée comme l'indique le plan de l'écluse (*fig.* 36), de manière que les portes s'y appuient quand elles battent l'une contre l'autre. On lui a donné le nom de *busc*, et les deux poteaux des portes qui reçoivent cette buttée se nomment *poteaux busqués*, et les portes elles-mêmes prennent le nom de *portes busquées*. On nomme la *chambre* des portes la partie du radier comprise d'une part entre les deux enclaves, et de l'autre entre le busc et le plan vertical qui passe par les angles de ces enclaves. La portion surhaussée du radier contre laquelle s'appuient les poutres forme le busc dont les claveaux se terminent en aval par un mur cylindrique concave vers l'aval, que l'on appelle mur de chute.

L'une des écluses est l'écluse d'amont, l'autre est l'écluse d'aval. Lorsque les sas ne contiennent qu'un bateau, l'écluse est disposée comme l'indique la *fig.* 36. Pour y faire entrer un bateau, s'il monte, on tient les portes d'aval ouvertes et celles d'amont fermées, de sorte qu'il peut entrer immédiatement dans le sas; une fois qu'il y est placé, on ferme les portes d'aval, et on l'amarre sur le terre-plein de l'écluse pour le maintenir stable; puis on introduit l'eau de la retenue dans le sas; l'eau, en s'élevant, soulève le bateau, et quand le sas est plein, on ouvre les portes d'amont et l'on fait sortir le bateau du sas pour le faire entrer dans la retenue supérieure. Si au contraire le bateau devait descendre, on ferait la manœuvre inverse, c'est-à-dire que pour recevoir le bateau, le sas est plein, les portes d'aval sont fermées et celles d'amont sont ouvertes; dès qu'il est entré, on ferme les portes d'amont, on vide le sas, et quand il est descendu au niveau d'aval, on ouvre les portes et il sort du sas.

Ces manœuvres sont simples, elles s'exécutent sans aucun danger dans un espace de temps de 10 à 20 minutes, suivant les dimensions du sas et des orifices d'écoulement d'eau. Aussi substitue-t-on en général les écluses à sas aux pertuis au fur et à mesure que l'on perfectionne la navigation des rivières.

### DIFFÉRENTES FORMES DES ÉCLUSES A SAS.

La forme des sas des écluses en dérivation varie suivant les besoins de la navigation : ainsi, au canal du Midi les écluses avaient la forme indiquée dans la *fig.* 37, *Pl. III* ; leur largeur, de 6 mètres aux portes, augmentait dans le sas qui avait 11m,06 au milieu ; cette forme avait été adoptée pour permettre de loger deux bateaux à la fois dans le sas ; mais on conçoit que cette disposition exigeait une dépense plus considérable d'eau, et plus de temps pour le passage des bateaux.

Sur le même canal il existe une écluse dont le sas est circulaire, et qui débouche dans trois branches du canal de niveaux différents. La branche A (*fig.* 38, *Pl. III*) communique avec l'Hérault au-dessus de la retenue des Moulins ; la branche B vient de Béziers et se dirige sur Agde et Cette ; enfin la troisième descend dans la vallée d'Agde, au-dessous de la retenue, et met par conséquent le canal du Midi en communication avec la mer dans le port d'Agde. En temps ordinaire, le niveau de la branche A est supérieur de 0m,32 à celui de la branche B, et ce dernier lui-même est plus élevé de 1m,40 que l'eau en C.

Cet ouvrage remarquable est très-ingénieux, cependant il présente des inconvénients que nous devons signaler : quoiqu'il n'y ait que trois têtes d'écluse, il y a quatre paires de portes qui ont exigé autant de dépense que si l'on avait construit deux écluses à sas indépendantes l'une de l'autre ; de même la maçonnerie pour les bajoyers circulaires est aussi considérable que pour deux écluses ordinaires ; enfin le passage des bateaux est plus long que si l'on avait construit deux écluses isolées aboutissant à un bassin rond, parce que la surface du sas circulaire est plus grande que celle des deux sas ; il faut par conséquent plus de temps pour les remplir qu'il n'en faudrait pour remplir deux sas à bajoyers droits.

Sur les rivières où la navigation est très-active, il faut disposer les sas de manière à ce qu'ils contiennent deux bateaux, ou bien en accoupler deux écluses ordinaires.

M. Mary a fait construire en 1843, sur le canal de l'Ourcq, des écluses disposées de manière que deux bateaux montants et deux bateaux descendants puissent passer à la fois (*fig.* 39, *Pl. IV*). Les deux sas sont parallèles et séparés par un mur de 0m,60 seulement d'épaisseur ; la chute n'est que de 0m,50 à 0m,60 ; ils ont 50 mètres de longueur et 3 de largeur ; les portes qui les ferment à l'amont et à l'aval sont à un seul ventail, dont le poteau tourillon est logé dans les bajoyers de rive. Le poteau battant heurte de 0m,15 dans la feuillure circulaire du bajoyer ordinaire. Cette disposition a été prise pour faciliter la circulation d'un bateau rapide entre Meaux et Paris.

### PONTS ÉCLUSIERS.

Lorsqu'on ouvre une dérivation destinée à recevoir une écluse, un espace de terrain se trouve compris entre la dérivation et le lit

de la rivière ; pour conserver l'accès de cette île, on peut établir un pont sur l'écluse ; ce pont peut être fixe ou mobile ; le pont fixe est préférable, parce qu'il dispense de toute manœuvre, qu'il exige peu d'entretien et qu'il présente plus de sécurité ; mais des raisons d'économie ne permettent pas toujours de lui donner la préférence.

Un pont fixe doit être assez élevé au-dessus des eaux de navigation pour que les bateaux chargés de marchandises puissent circuler dessous sans difficulté. Cette hauteur peut varier avec la forme des ponts et la nature des marchandises dont les bateaux sont chargés, mais en général 4 mètres entre le niveau des eaux et le dessous du pont paraissent suffisants. A Paris on donne 5m,50, pour que les bateaux chargés de charbon de bois puissent y passer avec leur entier chargement.

Pour obtenir avec le moins de dépense possible cette hauteur sous les ponts, ont doit les établir sur les murs de fuite, puisque c'est là que le niveau de l'eau est le plus bas possible, et que l'on y trouve les murs de fuite qui doivent servir de culées. Supposons la hauteur du pont fixée à 4 mètres au-dessus du niveau de l'eau en aval de l'écluse, si la chute est faible de 1 à 2 mètres, on voit que le dessous de la voûte ou du plancher doit être élevé beaucoup au-dessus des bajoyers de l'écluse.

Lorsque l'écluse est établie en tête de la dérivation d'une rivière sujette à des crues considérables, et que cette écluse doit être insubmersible, au lieu d'établir le pont fixe sur les murs de fuite, on le construit en avant des portes d'amont, qui doivent toujours être assez hautes pour surmonter le niveau des plus hautes eaux. Dans ce cas on raccorde le pont avec les digues qui ont pu être construites pour protéger la dérivation, ou avec la levée insubmersible sur laquelle on établit la voie que le pont doit desservir.

On ne place un pont fixe sur le milieu d'une écluse que quand celle-ci se trouve construite dans une tranchée assez profonde pour que l'on n'ait pas besoin d'établir des rampes pour accéder au pont. On donne alors assez d'ouverture au pont pour conserver des chemins de halage sur les bajoyers et aussi pour qu'il ne gêne pas la navigation. On trouve un exemple de cette disposition à l'écluse d'embouchure du canal Saint-Martin, près du pont d'Austerlitz, et à l'écluse du Pont-de-l'Arche, sur une dérivation de la Seine.

On fait des ponts mobiles sur les écluses quand les bajoyers sont peu élevés au-dessus du niveau des eaux d'aval ; on les place comme les ponts fixes, sur les murs de fuite, mais on n'élève les abords que dans les circonstances rigoureusement nécessaires. Le seul avantage que présente un pont mobile, c'est de permettre de haler les bateaux jusque dans l'intérieur du sas, et il convient alors d'employer des ponts à une seule volée, et de placer la culée du côté opposé à celui qui est affecté au halage.

Les ponts mobiles sont de diverses espèces. Ce sont ou des ponts-levis dont on élève le tablier pour donner passage aux bateaux, ou des ponts tournants mobiles autour d'un axe vertical, ou enfin des ponts roulants dont on roule le tablier sur la rive. Le système des ponts-levis à arc denté, permettant de faire la bascule beaucoup plus

courte que la volée, assure toujours une manœuvre facile, de sorte que ce système et celui des ponts tournants, qui lui est encore supérieur, sont à peu près les seuls employés actuellement à la construction des ponts mobiles sur les canaux.

Quant aux ponts fixes, leur système de construction varie avec la nature des matériaux dont on peut disposer et avec les exigences de la localité.

On fait des ponts en bois lorsqu'il est à bon marché, et que la communication que le pont doit desservir n'est pas assez fréquentée pour que le renouvellement de la charpente soit une gêne. On emploie la maçonnerie, quand on peut sans trop d'inconvénients exhausser les abords. Enfin on a recours à la fonte et à la tôle, quand les circonstances locales font une loi de tenir le pont le plus bas possible. Ce dernier cas se présente particulièrement dans les villes où il y a un grand intérêt à ne pas enterrer les maisons d'habitation qui représentent quelquefois de grandes valeurs.

## PORTES D'ÉCLUSES EN TOLE CONSTRUITES AU CANAL DU RHONE AU RHIN, PAR M. DETZENC, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES.

L'écluse n° 39, pour laquelle on a construit ces portes, a $5^m,30$ de largeur; sa chute est de $1^m,49$. Le couronnement de l'écluse est à $2^m,28$ au-dessus du busc d'amont, et de $3^m,77$ au-dessus du busc d'aval; la saillie des buscs sur le radier des chambres des portes est de $0^m,20$.

On a construit quatre vantaux : un vantail se compose d'un poteau tourillon en grosse tôle, d'une bande angulaire aussi en tôle, dans l'angle de laquelle s'engage un poteau busqué en bois de chêne, et d'un certain nombre d'entretoises.

**Poteau tourillon.** — Le poteau tourillon se compose de deux pièces de tôle de $0^m,015$ d'épaisseur, reliées entre elles par des rivets. Ces rivets ont $0^m,02$ de diamètre et sont espacés de $0^m,06$ d'axe en axe.

Le rectangle circonscrit à cette figure a $0^m,33$ de longueur et $0^m,23$ de largeur (*fig.* 46, *Pl. IV*).

Dans une porte d'amont, le poteau se compose de deux feuilles uniques de tôle dont la longueur est $2^m,32$.

Le poteau tourillon d'un vantail d'aval étant de $3^m,87$ de longueur, l'on ne pouvait pas faire le poteau d'une seule pièce en longueur, non pas que l'on n'ait pas de tôle de cette longueur, ni que cela soit impossible à faire, mais seulement parce que nous n'avions pas à notre disposition de four à réverbère d'une grandeur suffisante.

Le poteau tourillon d'aval est donc composé de deux parties creuses, reliées entre elles par un assemblage en flûte et rivées comme l'indiquent les *fig.* 48 *et* 53, *Pl. IV*.

Des évidements sont pratiqués dans la face du poteau tourillon perpendiculaire au bordage, afin de permettre l'introduction dans le poteau des boulons destinés à y assujettir les entretoises et le bor-

dage. Ces évidements sont placés au milieu de l'espace compris entre deux entretoises consécutives.

Les extrémités du poteau tourillon sont terminées par une section perpendiculaire à son axe. A son extrémité supérieure s'engage exactement et à 0m,120 de profondeur une pièce en fonte (*fig.* 47 *et* 52, 50 *et* 51, *Pl. IV*) dans laquelle est noyé un petit cylindre plein en fer de 0m,10 de diamètre et 0m,10 de hauteur. L'axe du cylindre est dans le prolongement de la partie cylindrique du poteau tourillon.

Cette pièce est assujettie au poteau tourillon au moyen de vis en fer de 0m,09 de longueur et de 0m,03 de diamètre. Le petit cylindre est retenu par un collier en fer forgé, muni de deux tirants qui sont scellés au moyen d'ancres dans les bajoyers de l'écluse (*fig.* 55 *et* 56, *Pl. IV.*)

**Crapaudine.** — Un noyau en fonte portant une mortaise sphérique de 0m,10 de diamètre et de 0m,10 de profondeur est engagé exactement dans l'extrémité inférieure du poteau tourillon. Des vis en fer de 0m,09 de longueur maintiennent cette pièce au poteau. Un pivot en fonte, scellé dans le radier de la chambre des portes et dans le chardonnet, s'engage dans la mortaise sphérique; le diamètre du pivot est de 0m,09 seulement (*fig.* 49 *et* 54, *Pl. IV*).

**Poteau busqué.** — Le poteau busqué est fait d'une pièce prismatique de bois de chêne. La face extérieure est un plan qui, lorsque le ventail est fermé, se confond avec celui qui divise en deux parties égales l'angle du busc. La première face est perpendiculaire au bordage, les deux autres lui sont parallèles.

Une pièce de tôle de 0m,015 d'épaisseur, courbée en équerre, embrasse sur toute sa longueur l'angle d'amont vers le poteau tourillon du poteau busqué.

Les extrémités, vers le poteau busqué des entretoises, sont boulonnées sur cette pièce de tôle, dont les deux faces à leur tour sont boulonnées à la pièce de bois (*fig.* 42 *et* 43, *Pl. IV*).

**Entretoise.** — Une entretoise est faite d'une seule feuille de tôle de 0m,01 d'épaisseur, de 3m,25 de largeur et de 0m,275 de longueur, courbée deux fois à angle droit. Chaque face extérieure a 0m,175 de largeur. La face du milieu a 0m,11. La section présente à peu près l'aspect d'un fer à cheval (*fig.* 42).

Lorsque la pièce est ainsi courbée, l'on découpe les angles de chaque extrémité sur une longueur de 0m,17, et l'on relève à angle droit et sur la même longueur les branches du fer à cheval (*fig.* 44, 45 *et* 46, *Pl. IV*).

Chaque extrémité est ainsi formée de trois branches : les deux extrêmes sont dans un même plan perpendiculaire à l'axe de l'entretoise et au plan du vantail, et la troisième est parallèle au même plan; cette dernière branche est percée de deux trous circulaires de 0m,03 de diamètre, espacés de 0m,06 d'axe en axe. Chacune des deux autres porte quatre trous de même diamètre, rangés en carré, et dont les centres sont espacés de 0m,09. Ces trous sont destinés à boulonner l'entretoise, d'une part sur le poteau tourillon, et de l'autre sur l'équerre en tôle du poteau busqué.

L'oreille supérieure vers le poteau tourillon de l'entretoise supérieure est recourbée par le bas et se trouve, ainsi que l'oreille parallèle à la face du vantail, assujettie au tourillon au moyen de vis en fer (*fig.* 47 *et* 52, 50 *et* 51, *Pl. IV*).

L'espace compris entre les deux entretoises supérieures est divisé en trois compartiments au moyen de deux montants en tôle.

Ces montants sont en tôle de $0^m,01$ d'épaisseur, construits de la même manière que les entretoises, et assemblés avec elles comme celles-ci le sont avec le poteau tourillon et le poteau busqué.

L'espace compris entre les deux entretoises inférieures est aussi divisé en trois compartiments au moyen de deux montants intermédiaires. L'espace du milieu forme l'ouverture de la vantelle, les espaces extrêmes sont recouverts d'un bordage en tôle.

Une pièce de bois formant heurtoir est appliquée et maintenue contre la face inférieure de l'entretoise du bas au moyen de trois boulons. Deux plaques destinées à maintenir l'extrémité de ce heurtoir sont boulonnées, l'une sur la face d'amont du poteau tourillon, l'autre sur la face d'amont du poteau busqué. Deux équerres intermédiaires, aussi destinées à maintenir le heurtoir, sont boulonnées sur la face inférieure de la dernière entretoise (*fig.* 40 *et* 41, *Pl. IV*). Des boulons traversant horizontalement le heurtoir l'assujettissent aux quatre pièces dont nous venons de parler.

**Garde-corps.** — Le garde-corps est composé de barres de fer de $0^m,01$ d'équarrissage, assemblées à tenons et mortaises, et dont les montants sont boulonnés sur les faces de l'entretoise supérieure. Ce garde-corps porte des consoles destinées à supporter une passerelle pour la manœuvre de la vantelle. Une perche attachée à cette passerelle sert à manœuvrer le vantail.

**Vantelle.** — L'ouverture de la vantelle est de $0^m,63$ de hauteur sur $0^m,89$ de largeur. Cette ouverture est fermée par une plaque en tôle de $0^m,005$ d'épaisseur, garnie de pentures assemblées avec elles au moyen de boulons. Ces pentures ont $0^m,005$ d'épaisseur et $0^m,005$ de largeur. Elles portent à l'extrémité supérieure un œil pour y attacher la tige de la vantelle. La tige est terminée à son extrémité inférieure par une fourchette boulonnée avec la vantelle, et à son extrémité supérieure par un œil boulonné avec la crémaillère.

La vantelle glisse entre deux coulisses en bronze et repose sur un seuil en fer.

Chaque coulisse est faite avec trois règles superposées et rivées entre elles; les deux premières règles sont en fer, la dernière sur laquelle glisse la vantelle est en bronze. Ces coulisses sont boulonnées avec de petits boulons sur les montants de l'ouverture de la vantelle. Le seuil est boulonné sur la face verticale de l'entretoise inférieure.

Le remplissage du sas se fait en deux minutes trente secondes, et la vidange en trois minutes.

**Bordages.** — Le bordage est en tôle de $0^m,003$ d'épaisseur; il est maintenu sur la carcasse de la porte au moyen de règles en fer superposées à la tôle et formant le cadre du bordage.

**Vantail d'amont.** — Un vantail d'amont a $2^m,32$ de hauteur,

il renferme quatre entretoises; ce vantail pèse 2051 kilogrammes.

**Vantail d'aval.** — Un vantail d'aval a 3m,87 de hauteur et renferme cinq entretoises; ce vantail pèse 2826k,50.

**Expérience.** — Une entretoise construite comme nous l'avons dit plus haut, avec de la tôle provenant des forges d'Audincourt, posée par les extrémités sur des appuis fixes, a supporté en son milieu pendant vingt-quatre heures, et sans perdre de son élasticité, un poids de 7000 kilogrammes.

Le système de portes que nous venons de décrire nous paraît avoir un avantage immédiat sur les autres systèmes de portes en fer : c'est que le poteau tourillon en fonte est remplacé par un poteau tourillon en fer.

## CANAUX.

On appelle canal latéral une voie artificielle creusée à côté d'un cours d'eau naturel; ce canal a sa pente dans le même sens que le cours d'eau.

On appelle canal à point de partage une voie artificielle dont le but est de passer d'une rivière dans une autre lorsqu'il est impossible de franchir de niveau le seuil qui les sépare.

## TRACÉ D'UN CANAL LATÉRAL.

Le but d'un canal latéral est de suppléer à l'insuffisance d'un cours d'eau pour satisfaire aux besoins de la navigation : il reste constamment dans la même vallée, son tracé n'offre pas généralement de grandes difficultés; sa position doit être choisie de manière qu'il contienne une hauteur d'eau nécessaire pour le passage des bateaux, qu'il soit à l'abri des dégradations que pourrait lui causer la rivière voisine, et qu'enfin on évite, autant que possible, les dépenses trop considérables dans lesquelles on pourrait être entraîné par des indemnités de terrains. Il y a presque toujours avantage à quitter le fond de la vallée pour se rapprocher des coteaux, car en élevant le canal on le rend insubmersible; mais des deux coteaux il faut choisir le moins abrupte, celui qui présente le meilleur sol, celui qui est le moins couvert d'habitations.

Quelquefois le cours d'eau vient s'appuyer contre l'un des coteaux qui est taillé tellement à pic qu'il est impossible de placer un canal entre lui et la rivière, de sorte qu'il faut ou passer d'une rive à l'autre, ou déplacer la rivière. Dans ce cas, le déplacement de la rivière est le moyen qu'on doit généralement préférer, surtout quand l'obstacle n'est pas très-étendu, car l'on conçoit que pour passer d'une rive à l'autre, il faut ou descendre de chacune des branches du canal dans la rivière, ou passer par-dessus cette rivière, et il en résulte toujours des difficultés et des dépenses considérables. Par conséquent, si l'une des rives permet d'éviter cette difficulté, il faut la choisir. Si cependant la nécessité de subir ces inconvénients se manifeste, il faut s'arranger de manière à les atténuer le plus possible.

Les eaux étant maintenues de niveau dans le canal, il faut, pour suivre la pente de la vallée, former plusieurs parties horizontales que l'on établit à des hauteurs différentes : le passage des unes aux autres se fait au moyen d'écluses à sas, dont les emplacements dépendent de la position que l'on a choisie pour le canal.

Si le canal est établi dans la vallée, dont la pente est ordinairement la même que celle du cours d'eau, on ne peut pas donner aux écluses une grande chute, parce qu'il faudrait pour cela creuser profondément les biefs vers l'amont et les élever beaucoup au-dessus du sol vers l'aval, ce qui entraînerait dans des dépenses considérables et pourrait donner lieu à des accidents, si des digues trop élevées venaient à se rompre.

Quand, au contraire, le canal s'appuie à un coteau, on peut maintenir le tracé dans une position telle que les déblais de la cunette puissent suffire à former les remblais des digues, et alors on peut donner aux écluses la chute plus convenable de 2$^{m}$,50 à 3 mètres.

La portion du canal comprise entre les deux écluses consécutives porte le nom de *bief*.

## PROFILS EN TRAVERS.

La largeur d'un canal est toujours en rapport avec les dimensions des bateaux qui doivent le fréquenter; elle est à peu près le double de celle des bateaux les plus larges. Ainsi, sur les canaux dont les écluses ont 5$^{m}$,20, la largeur du plafond est de 10 mètres; pour 6$^{m}$,50, elle est de 12 mètres.

Cette largeur a été calculée de façon que deux bateaux puissent se rencontrer sans se gêner, en ayant égard à leur élévation au-dessus du fond du canal et à l'inclinaison du talus.

La profondeur dépend aussi du tirant d'eau des bateaux qui fréquentent les rivières ou les canaux avec lesquels celui que l'on projette sera en communication. Cette profondeur varie entre 1$^{m}$,50, 1$^{m}$,65 et quelquefois 2 mètres.

Les talus du côté du canal ont ordinairement $1\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur; à la hauteur du niveau de l'eau, on établit une petite berme de 0$^{m}$,25 à 0$^{m}$,30, et quelquefois de 0$^{m}$,50, sur laquelle on plante des glaïeuls pour empêcher le clapotage de l'eau de dégrader les talus; pour empêcher cette dégradation on a encore formé sur quelques canaux une zone empierrée, soit verticalement, soit suivant l'inclinaison du talus, en prolongeant cette zone au-dessus et au-dessous du niveau de l'eau; enfin sur d'autres on a fait un revêtement en planches, soutenu par des piquets et muni d'une petite banquette destinée à empêcher les chevaux de s'écarter du chemin de halage.

On donne 3 à 6 mètres de largeur aux digues sur lesquelles se fait le halage; ces digues sont ordinairement à 0$^{m}$,50 au-dessus du niveau des eaux de navigation; lorsque l'on peut craindre des variations de niveau, on porte cette surélévation à 0$^{m}$,75 ou à 1 mètre.

Dans le tracé d'un canal il faut avoir soin de le mettre à l'abri

des inondations provenant des crues du cours d'eau; il faut, par conséquent, avoir une parfaite connaissance du régime du cours d'eau et recueillir autant de renseignements que possible.

### ALIMENTATION.

Un canal est généralement alimenté par les eaux de la rivière elle-même; quand le sol de la vallée n'est pas très-élevé au-dessus du niveau de la rivière, l'écoulement des eaux de la rivière dans le canal se fait naturellement et sans travaux d'art. On n'a plus alors à se procurer sur le parcours de ce canal que le volume d'eau nécessaire pour remplacer les pertes qui se font par filtration, par évaporation, etc. On peut utiliser les affluents du cours d'eau principal qui longent le canal, pour se procurer les eaux dont on a besoin. Cependant il y a des localités où on maintient avec peine en navigation des canaux latéraux; pour en fournir un exemple, nous citerons le canal du Rhône au Rhin, alimenté par une rigole navigable qui prend dans le Rhin, près de Huningue, 16 mètres cubes d'eau par seconde, et qui n'offre pas encore une navigation facile, à cause de la perte considérable des eaux à travers le sol graveleux dans lequel le canal est creusé; il est vrai qu'on est parvenu à diminuer les pertes chaque année, en introduisant dans la rigole des eaux bourbeuses qui laissent sur le lit un limon qui diminue les filtrations.

Quand un canal latéral ne prend pas sa source dans la rivière elle-même, on le dérive d'un point assez élevé pour que les eaux puissent arriver au canal latéral, ou bien l'on prend celles d'un affluent plus favorablement situé.

### INTRODUCTION DE L'EAU.

L'eau fournie par les rigoles alimentaires est introduite dans le canal par un réservoir ou aqueduc de prise d'eau qui passe sous la digue. Cet aqueduc est ordinairement disposé du côté du canal (*fig.* 57 *et* 58, *Pl. V*), avec murs en ailes, établis dans le prolongement des culées, sans aucun fruit sur leur parement; leur couronnement, disposé suivant le talus du canal, est appareillé comme dans les ponceaux de route, et exécuté avec des pierres taillées à crossettes. Du côté d'amont les culées sont prolongées pour recevoir des coulisses dans lesquelles on place une vanne. Cette vanne a un double emploi : d'abord elle permet de réparer la rigole d'alimentation tout en maintenant dans le canal les eaux à la hauteur voulue; puis elle sert à arrêter l'introduction de l'eau dans le canal, soit à l'époque des crues, soit dans les temps ordinaires, lorsque, par une cause quelconque, on a besoin de vider le canal, soit enfin quand les eaux sont assez abondantes. Quand on arrête l'introduction de l'eau dans le canal, il est évident qu'il faut lui rendre son ancien écoulement, ce qui ne peut se faire qu'autant que l'on a établi un déversoir de fond, soit au point où la rigole se sépare du lit du ruisseau dont on emprunte les eaux, soit en un point plus convenablement placé, c'est-à-dire plus rapproché du canal, si la rigole

a une grande longueur. Ce déversoir de fond est ordinairement formé de deux culées portant des coulisseaux dans lesquels on place une vanne.

## ÉVACUATION DES EAUX.

Il faut que dans les biefs où il y a des prises d'eau, il y ait aussi des moyens d'évacuation, pour qu'un canal ne soit pas exposé à être submergé, et pour qu'on puisse le vider entièrement pour y faire les travaux d'entretien nécessaires.

Pour empêcher la submersion, on a construit des déversoirs de superficie ou des siphons, et pour vider le canal, on a fait des déversoirs de fond avec vannes.

Les déversoirs de fond avec vannes sont disposés de la même manière que les prises d'eau; la vanne est placée derrière la digue, et les murs de prolongement doivent avoir assez de longueur pour résister à la poussée de l'eau, qui tend à les renverser; il faut donner aux fondations, à leurs extrémités, des renforts à parement vertical si le terrain est résistant, et à parement incliné s'il est mauvais, afin d'empêcher complétement les filtrations qui se feraient sous la fondation même.

Les déversoirs de superficie ou siphons sont établis en tête d'aqueducs construits comme l'aqueduc de prise d'eau, s'ils ont peu d'importance; quand ils sont plus étendus, qu'ils ont 2 ou 3 mètres ou plus, on les construit avec radier, entre deux bajoyers ou culées, sur lesquels est placé un tablier en charpente ou une voûte en maçonnerie.

## PASSAGE DES AFFLUENTS.

Un canal latéral doit nécessairement traverser tous les affluents du cours d'eau qu'il remplace. Or, comme le niveau du canal est constant et que ceux des affluents sont variables, on ne peut pas les mettre toujours en communication. Comme le canal est ordinairement plus élevé que les affluents, on les fait passer sous le canal. On appelle *aqueduc* l'ouvrage d'art qui assure le libre passage d'un cours d'eau sous un canal lorsqu'il a peu d'importance. On appelle cet ouvrage *pont-canal* quand il y a plusieurs arches ou même une seule d'une grande ouverture.

Les aqueducs sont de simples ponceaux auxquels on donne des dimensions proportionnées au volume d'eau à écouler. Lorsque la différence de niveau entre les eaux du canal et celles du ruisseau est peu considérable, la voûte de l'aqueduc reste toujours noyée, l'aqueduc fait siphon, et son radier est beaucoup plus bas que le fond du ruisseau en amont et en aval. Cette disposition exige des précautions dans la construction de la voûte, et que l'aqueduc soit disposé de manière que l'on puisse en épuiser les eaux en cas d'engorgement.

Il faut donner à la voûte assez d'épaisseur pour que son poids soit supérieur à celui de la colonne d'eau qui doit presser sous l'in-

trados, afin que si on met le canal à sec, la pression de bas en haut que l'eau exerce sur la surface d'intrados ne puisse pas soulever la maçonnerie.

On termine ordinairement les aqueducs aux deux têtes par des murs en retour, parce que ces murs s'opposent aux filtrations qui tendraient à s'établir à la jonction des terres et de la maçonnerie; il convient aussi de relier les culées par un radier, afin que les eaux ne puissent pas s'ouvrir un passage derrière et dessous les culées; le canal est ordinairement exécuté en terre au-dessus des aqueducs, comme dans ses autres parties, et on lui conserve le même profil.

Depuis quelques années on remplace les aqueducs de faibles dimensions par des tuyaux en fonte d'un diamètre qui ne dépasse pas 2 mètres; on en a fait usage au canal de la Marne au Rhin et au canal latéral à la Garonne; lorsqu'un seul tuyau est insuffisant, on peut en placer deux ou trois de front. L'emploi de ces tuyaux est surtout convenable quand les aqueducs doivent faire siphon et être pressés de dedans au dehors, parce que l'épaisseur qu'on est obligé de leur donner pour les fondre est plus que suffisante pour résister aux sous-pressions.

Lorsque l'affluent sur lequel un canal doit passer n'est pas un ruisseau, mais un cours d'eau qui exige une ouverture de plus de 3 ou 4 mètres et qui débite un volume d'eau considérable, on ne peut plus faire passer les eaux dans un aqueduc faisant siphon ni dans des tuyaux, parce que l'obstruction de cet aqueduc offrirait de graves inconvénients. Dans ce cas, on construit le canal à une hauteur suffisante pour que les eaux passant sous le pont n'atteignent pas la voûte même à l'époque des crues. Les plus grands ponts-canaux, ceux du Guetin et de Digoin, pour le passage du canal latéral à la Loire, sur l'Allier et sur la Loire, satisfont à cette condition.

La différence essentielle entre les aqueducs et les ponts-canaux tient à ce que les aqueducs sont recouverts avec de la terre et ne sont apparents que par leurs têtes, tandis que les ponts-canaux sont entièrement exécutés en maçonnerie, et que le canal est renfermé dans une cunette maçonnée sur toute l'étendue du pont.

**Pont-canal sur l'Armance, à Saint-Florentin.** — Ce pont-canal est formé de cinq arches de $5^m,80$ de largeur chacune, elles sont en arc de cercle avec la moindre flèche possible, afin de ne pas trop exhausser le canal. Le pont a extérieurement l'apparence d'un pont ordinaire, à cette différence que les têtes sont surhaussées de toute la profondeur du tirant d'eau dans le canal. La largeur d'une tête à l'autre se compose de celle des parapets, des banquettes de halage et du lit du canal réduit au passage pour un seul bateau; la largeur du canal que nous prenons pour exemple (*fig.* 59 *et* 60, *Pl. V*) est de $10^m,10$, savoir : $2^m,45$ pour chaque banquette, et $5^m,20$ pour le canal. Cette dernière largeur est celle des écluses, et elle suffit ici, parce que le pont-canal a peu de longueur; mais pour un pont d'une plus grande longueur, il conviendrait d'augmenter la largeur de la cunette pour faciliter le passage des bateaux, qui, sans cela, exige beaucoup de temps, attendu qu'il y a peu de passage pour

l'eau qui doit se déplacer le long du bateau pour passer de l'avant à l'arrière.

M. Jullien, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a donné à la cunette du pont-canal de Digoin une largeur de 6 mètres en gueule et de 5$^m$,60 au fond, et il a regretté que cette largeur ne fût pas plus grande; en effet, sur un canal très-fréquenté, il est important que les bateaux franchissent rapidement un pont aqueduc, parce qu'il y a toujours une écluse à l'aval, et qu'un bateau descendant, qui doit remplacer dans le sas le bateau montant, est forcé d'attendre, pour s'engager sur le pont-canal, que le bateau montant ait franchi et l'écluse et le pont.

Comme on est obligé d'élever beaucoup les ponts-canaux et par conséquent de soutenir les canaux eux-mêmes en remblai, il y a intérêt à redescendre le plus tôt possible; aussi construit-on ordinairement une, deux ou trois écluses à la suite d'un pont-canal.

Au pont de Saint-Florentin, le mur de chute de l'écluse est établi immédiatement derrière la culée: par cette disposition, la liaison des digues en terre à la maçonnerie se fait sans difficulté à l'extrémité de l'écluse; mais du côté de l'amont, pour éviter les filtrations qui pourraient se manifester entre le canal maçonné et le canal en remblai, il faut rattacher le pont à ces remblais non-seulement par une espèce de terre-plein qu'on obtient en prolongeant les culées et en construisant de très-longs murs en retour, mais encore en prolongeant la cunette maçonnée au delà de la culée d'amont, de manière à enraciner la maçonnerie dans le remblai.

Dans l'étude d'un pont-canal, il faut avoir égard au poids des maçonneries et au poids de l'eau pour calculer la force à donner aux piles, aux culées et aux voûtes. On doit surtout prendre de grandes précautions contre les filtrations qui sont toujours difficiles à éviter; on a cherché à les éviter en recouvrant les voûtes d'une couche de béton de 0$^m$,25 à 0$^m$,30 d'épaisseur, et en revêtant le fond et les bords de la cunette avec des dalles en pierre dure, et en appliquant sur ces dalles deux couches d'enduit en bitume.

On garantit les cuvettes du frottement et du choc des bateaux par des lisses en charpente supportées par des montants en bois et retenues contre les parois latérales par des boulons goujonnés, dont les écrous sont noyés dans le bois.

**Ponts-canaux en fonte.** — On a aussi construit des ponts-canaux en fonte à l'imitation de ceux qui existent en Angleterre. On en a exécuté un sur la Seine, un peu en aval de Troyes : la cuvette est en fonte, elle est supportée par des arcs également en fonte et reliés à leur partie supérieure par les plaques du fond de la cuvette. Le fond de la cuvette et ses parois latérales sont formés de plaques de fonte de 0$^m$,02 d'épaisseur; les bords sont retournés d'équerre comme les collets des tuyaux de conduite et s'assemblent de même, avec des petits boulons à écrous; ces sortes de nervures leur assurent une grande rigidité; les parois latérales sont maintenues par des étriers; la banquette de halage, de 2$^m$,30 de largeur, est placée en dehors et en encorbellement sur la cuvette; on élargit par ce moyen la voie d'eau et l'on diminue la résistance du halage,

sans être obligé de donner à la cuvette plus de largeur qu'aux écluses établies sur le canal. Le plancher de la banquette se continue sur la paroi latérale pour obvier au choc et au frottement des bateaux.

## TRACÉ D'UN CANAL A POINT DE PARTAGE.

Les canaux à point de partage sont ceux qui servent à passer d'un bassin dans un autre, en traversant une chaîne de montagnes sur chacun des versants. Les branches descendantes du canal aboutissent chacune à un fleuve ou à une rivière navigable; on leur donne le nom du cours d'eau principal auquel elles se rattachent. Ainsi le canal de Saint-Quentin a le versant de l'Escaut et le versant de l'Oise. D'autres fois on désigne les deux branches du canal par le nom de la mer à laquelle aboutissent les eaux, c'est ainsi que le canal du Midi a le versant de l'Océan et le versant de la Méditerranée.

Le tracé d'un canal à point de partage présente toujours de grandes difficultés : la condition principale à laquelle il doit satisfaire est de traverser le faîte de la chaîne qui sépare ses deux versants au point où l'on peut réunir la plus grande quantité d'eau possible; il faut donc franchir le faîte en son point le plus bas, puisque c'est à ce point que l'on peut amener les eaux en plus grande abondance.

Il y a très-peu de localités assez heureusement situées pour que l'on puisse passer d'un bassin dans un autre en un point assez bas, par rapport à la chaîne que l'on traverse, pour que les parties de cette chaîne, situées au-dessus du plan horizontal passant par le point minimum, fournissent la quantité d'eau nécessaire à l'alimentation d'un canal. Ordinairement les cours d'eau ne prennent naissance qu'à un niveau inférieur au niveau du sol dans lequel le canal a été creusé, de sorte que pour recevoir ces eaux, il faut creuser des tranchées profondes ou même ouvrir des souterrains, ce qui se présente habituellement; ainsi, au canal de Saint-Quentin, dont le point de partage passe de la source de l'Escaut à la source de la Somme, il y a un souterrain; il en est de même au canal de Bourgogne, qui unit les sources de l'Ouche et de l'Armançon.

Il n'y a que des tranchées au canal Crozat, qui unit l'Oise et la Somme, placées au point où ces deux rivières divergent après avoir coulé parallèlement; il en est de même au canal du Centre, placé au point d'inflexion qui se trouve entre la Saône et la Loire, coulant en sens opposé.

On peut quelquefois diminuer un souterrain et même le supprimer, si l'on reconnaît, par une étude minutieuse et détaillée, que le volume d'eau à recueillir à la surface des terrains avoisinants peut satisfaire à tous les besoins, ou bien s'il faut s'enfoncer plus ou moins pour en recueillir un volume plus considérable. Quelquefois les cours d'eau existants au-dessus du point de partage fournissent naturellement ces eaux, mais ce cas est très-rare, et il faut en général approvisionner des eaux dans la saison pluvieuse pour en avoir à l'époque des sécheresses. On ne peut pas compter alors sur le

jaugeage du produit d'un ruisseau, il faut calculer ce que les réservoirs pourront recevoir d'eau.

C'est aujourd'hui un fait incontestable, que le véritable système d'alimentation des canaux ne consiste pas à réunir au point culminant la plus grande quantité d'eau possible pour la distribuer de là sur les deux versants; dans tout canal à point de partage, la question la plus difficile à résoudre est de se procurer une quantité d'eau suffisante pour maintenir en bon état de navigation les biefs alimentés exclusivement par les eaux que le point de partage leur envoie.

Pour déterminer la quantité d'eau nécessaire au service de la navigation, on doit chercher à estimer aussi exactement que possible les différentes causes de dépense d'eau. Ces causes sont, comme on le sait, au nombre de six, savoir :

1°. Les pertes par évaporation ;

2°. Les pertes par filtration ;

3°. L'écoulement qui a toujours lieu à travers les portes des écluses et les fausses manœuvres des éclusiers pour envoyer de l'eau aux biefs inférieurs ;

4°. Le remplissage des biefs après les chômages ;

5°. La perte causée par l'imbibition des digues et terrains avoisinants, au moment de ce même remplissage ;

6°. La consommation pour le passage des bateaux par les écluses.

**1°. Pertes par évaporation.** — L'évaporation varie avec la température, avec l'état de l'atmosphère, mais en général on l'a trouvée de $0^m,004$ par jour. L'évaporation ne doit être prise en sérieuse considération qu'à l'époque des sécheresses; à cette époque il ne pleut pas, et l'évaporation est au contraire très-considérable ; on se tromperait donc si on déduisait le volume de l'eau évaporée de celui de la pluie tombée.

Connaissant la surface des biefs et réservoirs du canal alimentés uniquement par le bief de partage, on pourra se rendre compte de la perte totale due à cette cause.

**2°. Pertes par filtration.** — Les filtrations varient avec la nature du sol; elles sont toujours très-abondantes au moment où l'on met un canal en navigation, mais elles diminuent ensuite chaque année. On compte ordinairement les pertes produites par les filtrations comme doubles de celles provenant de l'évaporation, ce qui nous paraît largement suffisant pour les terrains avoisinant le bief de partage.

**Pertes par les portes d'écluses et par les fausses manœuvres des éclusiers.** — Gauthey, dans ses Mémoires sur les canaux, évalue cette perte à 1000 mètres cubes par jour pour les portes seulement. M. Minard ne la suppose pas au-dessous de 300 mètres cubes par vingt-quatre heures, et il estime qu'elle s'élève souvent au quadruple, soit 1200 mètres. Enfin, M. Brissoc, dans son *Cours de navigation*, l'estime à 1500 mètres cubes par jour; nous aurons donc égard à cette évaluation, et si nous la doublons pour avoir égard aux fausses manœuvres, nous aurons 3000 mètres cubes pour chaque versant et par conséquent 6000 mètres

cubes pour le bief de partage. En comptant sur trois cents jours de navigation dans l'année, on voit que nous aurons pour cet article **1 800 000 mètres cubes.**

Cependant, lorsqu'au lieu de portes en bois qui ne sont pas entretenues avec le plus grand soin, on adopte des portes en tôle bien construites, et d'un entretien à peu près nul, on sera au-dessus de la réalité en évaluant les pertes dues à cette cause à 6 ou 800 mètres cubes en 24 heures.

**Remplissage des biefs après les chômages.** — On peut très-bien s'arranger, lors du chômage, pour que toute l'eau contenue dans les biefs ne soit pas perdue, d'abord parce qu'il est possible qu'on ne soit pas obligé de mettre tous les biefs à sec, ensuite parce que l'on pourra souvent faire servir l'eau des biefs supérieurs au remplissage des inférieurs en commençant le curage par ceux-ci; de sorte que l'on devra se contenter d'évaluer la dépense d'eau des biefs inférieurs.

**Pertes par l'imbibition.** — Il est presque impossible de calculer exactement cette perte; on l'évalue ordinairement au tiers du remplissage des biefs.

**Consommation pour le passage des bateaux par les écluses.** — Il est facile d'évaluer la quantité d'eau dépensée pour le passage d'un bateau : supposons que ce bateau monte un des versants pour descendre par l'autre; lorsqu'il arrivera pour franchir la première écluse et que les portes d'aval seront fermées derrière lui, il faudra, pour l'élever au niveau du bief supérieur, faire entrer dans le sas un prisme d'eau qui aura pour mesure la section horizontale de ce sas multipliée par la hauteur de chute; soit P ce prisme. Quand le bateau sera ainsi amené à la hauteur du bief supérieur, on le sortira du sas, et la place qu'il y occupait sera remplie par le volume d'eau qu'il déplaçait et qui sera encore pris aux dépens du bief supérieur; soit V ce volume. Ainsi le premier bief dans lequel le bateau se trouvera aura perdu un volume d'eau exprimé par $P + V$. Pour monter dans le bief immédiatement supérieur, le bateau en tirera le même volume $P + V$ qu'il versera dans le premier bief, lequel sera ramené à son état primitif aux dépens du second. Ainsi en montant toujours, il se trouvera que le volume $P + V$ a été tiré du bief de partage.

Arrivé là, le bateau doit descendre par l'écluse supérieure du versant opposé. Avant de l'y faire entrer, on remplit le sas, et on tire ainsi du point de partage un prisme de remplissage P; mais au moment où le bateau se place dans le sas, il fait refluer dans le bief de partage un volume d'eau égal à celui qu'il déplace, de sorte que quand on ferme les portes d'amont pour vider le sas et abaisser le bateau au niveau du bief inférieur, le bief de partage n'a perdu que que $P - V$. Le bief inférieur se trouve donc avoir gagné ce volume $P - V$ qui sert au bateau à descendre tout le versant, de sorte qu'en résumé la dépense d'eau totale est $(P + V) + (P - V) = 2P$.

Ainsi chaque bateau marchant isolément dépense deux prismes de remplissage.

Lorsque la navigation est active sur un canal, on ne vide jamais

un sas que pour faire descendre un bateau, de sorte que la dépense d'eau pour un bateau montant et pour un bateau descendant est 2 P ; elle sera P pour chacun d'eux lorsqu'ils ont une même section et un même tirant d'eau.

Si les bateaux montaient à vide au bief de partage pour y prendre charge, au lieu de traverser simplement le canal en conservant toujours le même tirant d'eau, la dépense serait modifiée. Soit S la section horizontale d'un de ces bateaux, $h$ son tirant d'eau à vide, H son tirant d'eau à charge, et C la chute de l'écluse, la dépense d'eau à l'arrivée du bateau dans le bief de partage sera $SC + Sh$ ; en descendant elle sera $SC - SH$ et en total $2SC + S(h - H) = S(2C + h - H)$. Supposons que la chute de l'écluse soit égale à $\frac{1}{2}(H - h)$, la dépense sera nulle. On conçoit même que l'on puisse prendre une chute assez faible pour que le bief de partage ait gagné de l'eau au lieu d'en perdre.

Si, à partir d'un point de partage, on rencontre une écluse dont la chute soit plus considérable que celle des précédentes, il est évident qu'au passage de chaque bateau, il faudra restituer au bief de partage la quantité d'eau nécessaire au passage de cette grande écluse. Il est donc très-important, quand on construit un canal, de donner aux écluses des chutes égales, afin d'éviter un surcroît de dépense d'eau pour le bief de partage.

On avait imaginé sur quelques canaux de construire plusieurs écluses contiguës, ce qui modifie beaucoup la dépense ; ainsi pour faire monter un bateau quand tous les sas contiennent un prisme de flottaison, il faut tirer du bief supérieur autant de prismes de remplissage qu'il y a de sas et de plus un prisme égal au volume d'eau déplacé par le bateau. A Fonserane, près Béziers, par exemple, les sept sas accolés dépensent $7P + V$ pour faire monter un bateau. En descendant, le bateau ne dépense toujours que $P - V$. Si tous les sas étaient vides, et c'est le cas ordinaire, il faudrait encore ajouter à la dépense le prisme d'eau nécessaire pour faire flotter le bateau dans le sas immédiatement supérieur ou inférieur ; de sorte que pour $n$ chutes, la dépense d'eau serait en montant $nP + (n - 1)F + V$, en appelant F le prisme de flottaison ; en descendant la dépense serait $P + 2F - V$, et en total

$$P(n + 1) + F(n + 1).$$

On voit par là que sous le rapport de la dépense de l'eau et sous celui du temps nécessaire pour le passage des bateaux le système des sas accolés est des plus vicieux.

**Moyens imaginés pour ménager l'eau employée à faire passer les bateaux dans les sas des écluses.** — Sur les canaux où la quantité d'eau employée à faire franchir aux bateaux la chute des écluses est une fraction importante de la dépense d'eau totale, et où l'eau est rare, on a cherché les moyens d'économiser celle qui est nécessaire pour cette manœuvre.

La première idée qui a dû se présenter a été de construire à côté de chaque sas un bassin d'une section égale, dont le fond descen-

drait aux deux tiers de la hauteur de la chute. et qui, mis en communication avec le sas, pourrait recevoir le tiers de l'éclusée, et le rendre ensuite dans le sas pour le passage d'un autre bateau.

En donnant au bassin latéral une section plus grande que celle du sas, ou en faisant plusieurs bassins étagés, on pourrait économiser une plus grande quantité d'eau.

M. de Béthancourt, directeur général des voies de communication en Russie, et M. le colonel Congrève ont imaginé divers appareils pour économiser l'eau au passage des écluses ; mais l'exéution en serait difficile : d'ailleurs ces appareils sont si compliqués, que nous n'essayerons pas de les décrire ; nous nous occuperons plutôt des appareils beaucoup plus simples imaginés par M. Girard, mécanicien.

A côté d'un sas ordinaire E (*fig.* 61, *Pl. V*) il établit un bassin B, dans lequel il place un flotteur rectangulaire F (*fig.* 62, *Pl. V*). Ce flotteur en tôle est à double fond, et ses fonds sont tellement disposés, que dans le moment initial, étant recouverts d'une tranche d'eau de peu d'épaisseur, la surface de cette eau se trouve, dans le compartiment supérieur, à 0m,05 au-dessous du niveau du bief d'aval. Le compartiment supérieur C' est mis en communication avec le bief d'amont, au moyen d'un siphon renversé S', tandis que le compartiment inférieur C communique avec le bief d'aval par le siphon S. Ces siphons peuvent se fermer avec des soupapes *a* et *a'*. L'appareil étant dans cette position, si on ouvre les soupapes, l'eau coulera des deux biefs dans le flotteur qui s'immergera à raison de l'eau qu'il recevra, et conservera toujours la dénivellation de 0m,05 entre l'eau des biefs et celle des compartiments inférieurs correspondants ; par conséquent, lorsque l'eau sera élevée dans le sas à 0m,10 au-dessous du niveau de l'amont, si on ouvre les portes, la branche d'eau de 0m,10 qui entrera dans le sas soulèvera le flotteur de 0m,10 ; de sorte que l'eau contenue dans les deux compartiments se trouvera à 0m,05 au-dessus du niveau des biefs supérieurs et inférieurs. On pourra donc verser dans les biefs l'eau que contiendra le compartiment correspondant à chacun de ces biefs, et revenir ainsi au point initial. Les siphons renversés qui mettent en communication les biefs avec les compartiments n'ont pas besoin d'être amorcés, il faut seulement que dans le mouvement oscillatoire du flotteur, les tranches verticales des siphons qui remontent dans les compartiments puissent glisser dans des garnitures hermétiques en cuir.

La construction du sas et du flotteur ne présente aucune difficulté ; seulement il faut que le flotteur ait un poids égal à celui de l'eau dans la partie alternativement immergée et émergée, et l'éclusier doit être très-attentif à établir un écoulement régulier entre les biefs et les deux compartiments du flotteur.

Quand on étudie le tracé d'un canal aux abords du fief de partage, on doit déterminer la chute des écluses, car nous avons vu que la dépense d'eau en dépend ; il faut donc que cette chute ne soit pas trop considérable.

## RIGOLES ET RÉSERVOIRS.

**Rigoles.** — Les cours d'eau qui alimentent un point de partage n'arrivent que rarement d'une manière directe dans le bief supérieur, il faut presque toujours les dériver pour les faire arrêter à la hauteur de ce bief. On ouvre alors une rigole qui amène les eaux au bief de partage avec la moindre pente possible, pour que le ruisseau que l'on dérive, étant pris très-bas, fournisse le maximum d'eau au bief de partage. Pour déterminer la pente de la rigole, il faut se donner la vitesse qui ne peut pas être moindre de $0^m,20$ à $0^m,30$ par seconde. On a cherché quelquefois à se guider sur des exemples, et on a consulté les pentes données à différents écoulements artificiels, mais sans avoir égard à l'élément essentiel qui est le rayon moyen; or, pour que deux rigoles de formes différentes soient dans la même condition, il faut que la valeur de RI, dans la formule $RI = av + bv^2$, soit la même.

Lorsqu'une rigole doit recevoir des eaux affluentes dans son parcours, il est nécessaire de faire varier la section en raison des volumes divers qu'elle aura à écouler et que l'on peut facilement mesurer; lorsqu'elle n'est destinée qu'à l'écoulement des eaux d'un réservoir, le volume d'eau varie suivant les besoins; en temps ordinaire, la rigole ne fournit qu'à l'alimentation régulière du canal; mais après les chômages, elle doit débiter un volume d'eau assez considérable pour remplir promptement les biefs qui ont été mis à sec : on adopte pour cela un profil qui satisfasse à cette double destination; celui qui paraît le mieux convenir est celui pour lequel on établit une banquette au niveau qui répond à cet écoulement, de manière qu'il a un lit mineur et un lit majeur; de cette manière on augmente le périmètre mouillé et on diminue par conséquent la vitesse de l'eau qui pourrait sans cela dépasser la limite qui convient à la résistance du sol.

Soit donc V la vitesse et Q le volume, on aura pour la section $\omega = \frac{Q}{V}$. Dans les tubes de M. de Prony on trouve la valeur de RI correspondante à une vitesse donnée. Ainsi, en appelant $x$ la largeur du fond de la rigole, $h$ la profondeur de l'eau, nous aurons, en supposant les talus à 2 de base pour 1 de hauteur :

$$(x+2h)h = \omega = \frac{Q}{V'}R = \frac{\omega}{\lambda} = \frac{\frac{Q}{V}}{x + 448b}.$$

RI = la valeur donnée par les tables, c'est-à-dire que nous aurons trois équations et quatre inconnues, $x$, $h$, R et I. Il est vrai que l'on peut, si on n'a pas de condition à remplir, rendre le problème déterminé, en rendant R un maximum; alors on égalera à 0 la différentielle de la valeur de R, et on aura ainsi une quatrième équation.

La pente de la rigole étant déterminée et la position du point où

on prend les eaux étant connue, on peut en nivelant arriver à un tracé approximatif en plaçant des piquets suivant la pente de la rigole et de manière que les déblais compensent autant que possible les remblais. Si des obstacles s'opposaient à ce que l'on prît pour base de nivellement la ligne de pente tracée sur le sol et à ce mode d'opérer sur le terrain, on devrait multiplier les profils en travers pour pouvoir tracer sur le plan des courbes de niveau dans la zone où la rigole doit se trouver renfermée. Il est nécessaire aussi de placer sur les rigoles, près de l'entrée des eaux dans le canal, un déversoir de fond au moyen duquel on puisse assurer l'écoulement des eaux de la rigole en dehors du canal, soit en cas d'accident à ce canal, soit quand il y a surabondance d'eau.

**Réservoirs.** — Il arrive que les cours d'eau naturels ne suffisent pas toujours à l'alimentation constante d'un canal à point de partage ; il faut alors creuser des réservoirs dans lesquels on fait des provisions d'eau pour les moments de disette, ou bien élever l'eau avec des machines, ou bien enfin avoir recours aux puits artésiens. En effet, le volume des sources est beaucoup plus faible en été qu'en hiver : le rapport de cette différence est de 1 à 5 au canal de Berry et de 1 à 3 au canal de Bourgogne ; l'établissement de réservoirs devient donc indispensable, si l'on veut recueillir les eaux surabondantes pour les employer aux besoins de la navigation.

On forme un réservoir en barrant un vallon par une digue que l'on établit dans l'endroit le plus étranglé du vallon et de manière à obtenir une très-grande capacité qui devra être proportionnée au volume d'eau qu'on pourra y amasser. Il faut pour cela connaître l'étendue des terrains qui ont leur pente vers le réservoir, ainsi que la quantité moyenne des eaux pluviales. Cette moyenne est en France de $0^m,70$ ; on peut supposer que les $\frac{3}{7}$ seulement couleront à fleur du sol ; avec ces données on connaîtra la quantité maxima du réservoir.

Quand les réservoirs sont alimentés par des ruisseaux, on peut facilement connaître le volume des eaux par un jaugeage fait à des époques différentes.

Les barrages peuvent être faits simplement en terre, ou bien en maçonnerie, ou bien encore en terre et en maçonnerie : le choix de ces constructions dépend de la hauteur des digues et de la nature du sol. S'il s'agit d'une digue de peu de hauteur, on la fait de préférence en terre, et l'on évite ainsi des dépenses considérables pour les fondations d'un ouvrage en maçonnerie ; ainsi, au canal du Nivernais, on a construit des digues en terre qui sont des espèces de chaussées sur lesquelles la circulation est établie ; elles ont 4 ou 5 mètres de hauteur, et sont défendues du côté d'amont par des perrés en moellons smillés et disposés par assises régulières reposant sur les talus des digues dressées à $1\frac{1}{2}$, à $1\frac{3}{4}$ ou à 2 de base pour 1 de hauteur, suivant la nature des terres employées à leur exécution.

Pour tirer d'un réservoir les eaux dont on a besoin, il faut que

l'on puisse ouvrir et fermer à volonté un orifice d'écoulement de grandeur convenable. M. Vallée, dans son Mémoire inséré dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, en 1833, premier semestre, donne le projet d'une bonde de prise d'éau applicable à un étang fermé par une digue en terre. Cette bonde est formée d'un aqueduc inférieur *ef* (*fig.* 63, *Pl. V*) établi au niveau le plus bas auquel on se propose de tirer les eaux du réservoir, et traversant la digue. A l'aplomb des pieds-droits de cet aqueduc vers l'amont, s'élèvent des murs en aile verticaux disposés en talus et portant trois retraites. Entre ces murs sont pratiqués deux autres aqueducs *cd*, *ef*, aboutissant dans un puits *gh* s'élevant depuis l'aqueduc inférieur jusqu'au sommet de la digue. Au niveau des radiers des deux aqueducs supérieurs sont établies des plates-formes formant des espèces d'avant-radiers. Les murs en aile des trois aqueducs portent des rainures pour recevoir des poutrelles dans toute la hauteur de chacune des trois divisions de ces murs. Les têtes des aqueducs sont fermées de vantelles de $0^m,40$ sur $0^m,50$; les aqueducs eux-mêmes ont $0^m,60$ sur $0^m,90$, et le puits 1 mètre de diamètre. Pour que les eaux qui tombent des bondes supérieures dans le puits ne dégradent pas les maçonneries, on forme un barrage à poutrelles entre les murs en aile de la tête d'aval de l'aqueduc *ab*. Au moyen de la disposition que nous venons de décrire, lorsque l'on veut tirer des eaux de l'étang, on n'est pas forcé de lever avec beaucoup de peine une vanne chargée de 12 mètres de hauteur d'eau, mais seulement une vanne de 4 mètres. On peut aussi, dans le cas où la vanne est dérangée, soutenir la charge de l'eau à l'aide de poutrelles placées dans les coulisses et mettre la vanne à découvert. Ces mêmes poutrelles permettent de maintenir le niveau de l'eau dans l'étang à une hauteur déterminée.

Outre la bonde de prise d'eau, un réservoir doit avoir une bonde de fond placée au point le plus bas de la vallée; elle sert à vider le réservoir en cas de réparations. Cette bonde est un aqueduc de dimension suffisante pour débiter le volume des eaux que peut contenir le réservoir. La fermeture doit être placée au fond d'un puits construit dans la digue, afin qu'on puisse la manœuvrer en tout temps.

**Barrages en maçonnerie.** — On exécute aujourd'hui la plupart des barrages de réservoirs profonds au moyen de murs en maçonnerie. Le réservoir de Grosbois, au canal de Bourgogne, est l'un des plus importants que l'on ait construits de ce genre. Le barrage a été fait pour supporter une élévation de 21 mètres au-dessus du fond naturel de la vallée, sa fondation est établie sur un sol d'argile feuilletée très-dure, et cependant lors du premier remplissage, une lézarde de $0^m,008$ s'est déclarée dès que les eaux eurent atteint une hauteur de $17^m,25$; une fois ce premier mouvement opéré, il a suffi d'une charge d'eau de 9 mètres pour faire avancer le mur qui revenait ensuite sur lui-même, quand le réservoir était vide.

Si on se reporte à la figure 64, *Pl. VI*, on verra que par suite de la disposition adoptée pour fonder le mur sur l'argile feuilletée, la

hauteur d'eau qui presse réellement sur la face d'amont, est de 26 mètres. Si on calcule quelle a pu être la pression sur le sol de la fondation, on trouve que la résultante de la poussée de l'eau et du poids du mur vient passer à $4^m,10$ du parement vu. Le poids du mur étant de 671 000 kilogrammes environ, il en résulte que la pression maxima par centimètre carré vers l'arête extérieure était, sous la charge d'eau de 26 mètres au-dessus de la fondation, de $\frac{2}{3} \times \frac{818\,000}{41\,000} = 13^k,30$ par centimètre carré. On ne fait jamais supporter à la maçonnerie de moellons plus de 7 à 8 kilogrammes par centimètre, et à plus forte raison à de l'argile feuilletée : aussi n'est-il pas étonnant que le mur ait été poussé en avant. Pour consolider ce mur on a exécuté des contreforts de 10 mètres de largeur et d'autant de saillie, espacés de 40 mètres, ils ont un fruit latéral de $\frac{1}{10}$ et vers l'aval de $\frac{1}{5}$. On les a exécutés sans les relier au mur, et ce n'est qu'un an et demi après que ce travail a été terminé. Pour mortier on a employé du ciment romain.

Dans les réservoirs avec barrage en maçonnerie, on peut ne donner que 1 mètre ou $1^m,50$ de revanche au mur, suivant son étendue, sa profondeur et la position qu'il occupe par rapport à la direction des vents violents. Il importe que le mur d'un réservoir repose sur un sol incompressible et que les eaux ne s'infiltrent pas sous la fondation; pour cela on a soin d'enraciner la maçonnerie dans le sol par des redans.

En résumé, un mur de réservoir doit être disposé de façon que la résultante du poids du mur et de la poussée de l'eau, pour 1 mètre de longueur, vienne passer à une distance telle de l'arête extérieure de la fondation, que les $\frac{2}{3}$ de la résultante, répartis uniformément sur une surface rectangulaire ayant pour longueur cette distance et pour largeur 1 mètre, ne donnent pas une pression plus considérable que la résistance soit du sol, soit de la maçonnerie. Quand le sol est compressible, on doit chercher à faire passer la résultante par le milieu de la base du mur.

La disposition des bondes de fond à établir dans un mur de barrage pourrait être plus simple que dans une digue en terre. Au réservoir de Chazilly, canal de Bourgogne, on a placé un puits de 2 mètres de diamètre au centre d'une demi-tour ronde appuyée contre le mur du barrage. On a disposé des escaliers en dehors de cette tour pour descendre jusqu'au fond du réservoir (*fig.* 65, *Pl. VI*). On manœuvre les bondes en se plaçant sur les différents paliers d'où on lève les vannes qui ferment les aqueducs de prise d'eau, échelonnés à des hauteurs égales, les uns au-dessus des autres. La bonde de fond, indépendante des bondes de prise d'eau, se place, comme dans les digues en terre, au point le plus creux du vallon.

**Barrages exécutés en terre et en maçonnerie.** — Le barrage de Saint-Féréol, dont la construction remonte à l'époque de

l'exécution du canal du Midi par Riquet, est construit en terre et en maçonnerie. Il supporte une hauteur d'eau de 31 mètres. La digue en terre, de 140 mètres de largeur à la base, est soutenue et consolidée par deux murs qui servent à diminuer la longueur des talus; un troisième mur est construit à peu près au milieu de la digue. Les terres du côté d'aval s'élèvent jusqu'au sommet du mur; en amont, le haut du talus est à $9^{m},40$ au-dessous de la surface de l'eau. Ce mur central paraît avoir 3 à 4 mètres vers le haut et 6 mètres à la base.

L'eau s'écoule au moyen de trois gros robinets placés à l'extrémité de trois tuyaux qui traversent le mur central et débouchent dans deux galeries, l'une d'arrivée, l'autre de départ, construites sous les talus de la digue. Pour faciliter la manœuvre des robinets et la vidange du bassin, il y a du côté d'amont deux galeries placées l'une au-dessus de l'autre : elles sont mises en communication près du mur central, et un escalier permet de descendre de la galerie supérieure qui sert à la circulation jusqu'à la hauteur de l'extrados de la galerie inférieure et d'arriver sur un plancher placé au point de communication. C'est sur ce plancher, lorsque les eaux sont suffisamment basses, que l'on se place pour lever la bonde de fond du réservoir, établie au-dessous des tuyaux de prise d'eau; du côté d'aval, il y a également deux galeries, l'une supérieure donnant accès aux robinets, l'autre inférieure servant à la décharge des eaux. La galerie supérieure débouche à la hauteur du talus de la vallée, l'autre débouche au point le plus bas de cette vallée.

Il résulte de ce qui vient d'être exposé sur les différents modes de construction des barrages des réservoirs :

1°. Que les digues en terre revêtues de perrés conviennent pour les retenues d'eau de faible hauteur;

2°. Que les murs peuvent être employés avec avantage quand on a à supporter une hauteur d'eau de 12 mètres au moins, mais qu'il faut pour cela que le sol soit à peu près incompressible et que la forme du mur soit calculée de manière que la résultante des forces auquel il sera soumis ne passe pas beaucoup au delà du milieu de la fondation ;

3°. Que les digues en remblais doivent être préférées pour les hauteurs de 10 à 12 mètres, quand le sol du vallon n'est pas incompressible et que l'on a de bonnes terres pour construire la digue; mais alors il convient de défendre le talus d'amont par de petits murs à gradins et indépendants.

## DES PRINCIPAUX CANAUX A POINT DE PARTAGE.

**Canal de Briare.** — Le canal de Briare a été exécuté pour franchir le faîte entre deux grands cours d'eau, c'est pour lui que l'on conçut l'heureuse idée de chercher dans la chaîne même des montagnes qui séparent le bassin de la Loire de celui de la Seine les eaux nécessaires pour alimenter une navigation ascendante et descendante sur les deux versants de cette chaîne.

**Canal du Midi.** — Le canal du Midi, autrement dit le canal

du Languedoc, relie la Garonne prise à Toulouse à la Méditerranée dans le port de Cette.

**Canal des Ardennes.** — Le canal des Ardennes met en communication la Meuse et l'Aisne.

**Canal du Berry.** — Le canal du Berry prend son origine à Montluçon sur le Cher, longe cette rivière jusqu'à Saint-Amand, remonte ensuite le faîte qui sépare le Cher de l'Auron, un de ses affluents, jusqu'à Fontblisse, là se divise en deux branches dont l'une va se joindre à la Loire entre Nevers et la Charité, et l'autre côtoie l'Auron, puis l'Yèvre et le Cher jusqu'à Saint-Aignan où il tombe dans le Cher jusqu'au droit de Tours, où la navigation rentre en Loire par un petit canal de jonction.

**Canal du Centre.** — Le canal du Centre est destiné à mettre en communication la Saône et la Loire; il aboutissait à deux cours d'eau qui, abandonnés à leur état naturel, étaient privés d'eau et n'étaient pas navigables pendant les mois d'été; mais on a remédié à cet inconvénient, en améliorant la navigation de la Saône et en construisant le canal latéral à la Loire.

**Canal de Bourgogne.** — Le canal de Bourgogne, quoique d'une création peu ancienne, se trouve dans des conditions aussi défavorables que le canal du Centre, et la navigation y est fréquemment interrompue, bien que les réservoirs groupés autour du point de partage aient ensemble une capacité de plus de 20000000 mètres cubes.

**Canal de la Sambre à l'Oise.** — Le canal de la Sambre à l'Oise se trouve, par la disposition de son point de partage, dans une situation très-favorable pour l'alimentation, parce qu'il traverse un faîte peu élevé; mais le génie militaire s'est opposé, dans l'intérêt de la défense de Landrecies, à le creuser jusqu'à la profondeur inférieure à leur niveau, et à ce que le bief de partage fût descendu à une profondeur qui aurait permis d'y introduire les eaux de la grande et de la petite Helpe, de sorte qu'il n'est alimenté que par des ruisseaux pris en des points trop élevés, et qu'en été il ne peut pas être entretenu au niveau de la navigation.

## DÉTAILS SUR L'EXÉCUTION DES OUVRAGES.

**Travaux de terrassements.** — On ne connaissait, avant les travaux des chemins de fer, que deux moyens de transport : la brouette et le tombereau; on n'en employait pas d'autres, quels que fussent les volumes des déblais et remblais, et quelles que fussent les distances à parcourir.

Aujourd'hui, il y a quatre modes de transports : le transport à la brouette, au tombereau, aux wagons traînés par des chevaux sur des voies de fer, et aux wagons remorqués par une locomotive.

S'il importe d'éviter les temps perdus et de livrer le plus tôt possible la voie à la circulation, il n'importe pas moins d'examiner si l'accroissement des frais par l'emploi des moyens plus parfaits n'entraînera pas dans des dépenses plus considérables que par les procédés ordinaires; nous aurons donc à signaler de quelle manière

ces conditions sont remplies dans chaque cas, et à indiquer le système à préférer dans telle ou telle circonstance.

**Transports à la brouette.** — Chaque équipe se compose de piocheurs, de chargeurs et de rouleurs; cependant, lorsque la terre est suffisamment meuble, les piocheurs deviennent inutiles, les chargeurs suffisent pour charger les brouettes; le travail doit être disposé de façon que lorsqu'un brouetteur amène une brouette vide, il en trouve une pleine; il doit donc y avoir une certaine relation entre le parcours, le nombre d'ouvriers et la capacité de la brouette.

L'expérience a prouvé qu'un chargeur peut remuer 15 mètres cubes par jour : une brouette contient un huitième de mètre cube environ : donc pour transporter 1 mètre cube, il faudra 30 voyages, et pour transporter 15 mètres cubes, il faudra à peu près 500 voyages : or un rouleur peut parcourir 30000 mètres par jour : par conséquent, pour que le travail se fasse par un brouetteur, il faudra que les relais ne dépassent pas 30 mètres.

Quand on effectue des transports à la brouette, on divise l'espace à parcourir en un certain nombre de relais où les manœuvres se changent. Nous venons de dire que la longueur d'un relais ne devait pas dépasser 30 mètres en terrain horizontal, et lorsque le terrain est incliné à $\frac{1}{12}$, le relais ne doit pas dépasser 20 mètres.

Quand on fait les transports à la brouette, il n'y a pas de temps perdu, parce qu'un homme peut remplacer immédiatement celui qui a terminé son relais, et que l'on peut avoir un assez grand nombre de brouettes pour que plusieurs soient chargées d'avance.

En égalant les prix des transports à la brouette et au tombereau, on détermine par le calcul la distance à laquelle on doit cesser les transports à la brouette, pour les exécuter au tombereau. Ordinairement, on commence les transports au tombereau quand il y a plus de quatre relais de brouetteurs; on va donc à la brouette jusqu'à 120 mètres environ. C'est à partir de là qu'on effectue les transports au tombereau.

**Transports au tombereau.** — La capacité du tombereau à un cheval est de $\frac{4}{5}$ de mètre cube; il faudrait 40 minutes à un seul chargeur pour le remplir; on en met donc ordinairement trois et alors ils emploient 15 minutes pour charger. On ne dételle pas les chevaux, ils se reposent pendant le chargement; mais pour racheter la perte entraînée par l'inaction du moteur, on fait charger le charretier et on ne met que deux chargeurs. Les tombereaux se déchargent en 2 minutes en faisant basculer la caisse du tombereau. On voit par là que lors même qu'on détellerait les chevaux au lieu de les faire attendre, il y a des temps perdus, et ils sont tels que dans la pratique, le cheval est un moteur plus coûteux que l'homme, quoique l'effort exercé soit plus considérable pendant le mouvement. De même, si on emploie des chevaux attelés à des wagons ou même des locomotives, la perte de temps sera aussi considérable,

mais aussi l'effort exercé pendant le temps de l'action sera beaucoup plus grand. Il résulte de là, que plus le chemin à parcourir est court, moins il y aura avantage à employer des systèmes perfectionnés; plus il sera long, plus au contraire on trouvera d'avantage dans leur usage. Cela résulte immédiatement de ce que la perte de temps diminue de valeur, lorsque la durée de l'effort augmente en même temps que la puissance.

**Terrassements au wagon.** — A mesure que les chemins de fer ont acquis de l'importance, on a dû chercher des moyens plus puissants pour les mouvements de terre, et plus économiques sur une grande échelle, que le bras de l'homme ou le cheval. On a employé le wagon. On a reconnu qu'il était convenable de se servir de voies de fer pour des distances dépassant 300 mètres; on fait traîner les wagons par des chevaux quand la distance ne dépasse pas 3000 à 3500 mètres. Au delà, il est avantageux de faire usage des locomotives.

Quand on veut effectuer des terrassements au moyen de wagons, il y a un élément nouveau à prendre en considération, c'est l'établissement de la voie de fer; et cet élément marche en sens contraire des raisonnements précédents; car plus la longueur à parcourir sera considérable, plus l'établissement de la voie de fer sera coûteux. Il en résulte que, dans le mode de transport par wagon, plus la distance sera grande, plus il faudra avoir une masse considérable de déblai à transporter pour compenser les frais d'installation.

Dans l'étude des projets de route, on cherche à établir une compensation exacte entre les remblais et les déblais. Dans les chemins de fer, il ne convient pas toujours de remplir cette condition; on n'y parviendrait, dans certains cas, qu'en admettant des remblais d'une hauteur excessive, d'une construction ou d'un entretien fort coûteux, et des tranchées extraordinairement profondes et difficiles à percer. Dans d'autres cas, les terres devant être transportées à de très-grandes distances, il en résulterait une grande augmentation de frais occasionnée, non-seulement par la longueur du trajet à parcourir, mais encore par le retard apporté à l'achèvement du chemin. Il est d'ailleurs important que les grands remblais, si fréquents sur les chemins de fer, soient le plus rarement composés de terres glaiseuses, et qu'ils ne reposent pas sur des terrains mous; et ce n'est pour ainsi dire que par exception que l'on peut éviter l'un et l'autre de ces inconvénients, en compensant les déblais par les remblais.

De là résulte que la méthode des dépôts et des emprunts est bien plus souvent applicable dans les chemins de fer que dans la construction des routes.

**Observations sur les diverses natures de terres en déblais.** — Lorsque l'on compare les diverses natures de terres en déblais, on est dans l'usage de les désigner par les qualifications de *terres ordinaires*, *terres légères*, *terres fortes*. Ces dénominations mal précisées ont souvent donné lieu, dans chaque localité, à des discussions difficiles à résoudre, et en outre, les mêmes termes, étant employés partout, s'appliquaient dans chaque localité à des

données tout à fait différentes ; d'où résultaient des assertions fort opposées. Par exemple, presque partout, on appelle terre ordinaire celle qu'on trouve le plus fréquemment à la surface des fouilles, quelle que soit d'ailleurs sa nature. Aussi, dans telle analyse, on porte le travail d'excavation d'un terrassier à 18 mètres cubes par jour dans la terre ordinaire, tandis que dans une autre on le porte à 8 mètres cubes.

Ces résultats, fournis par des expériences faites avec soin, frappèrent, en 1817, M. Vaillant, capitaine du génie, aujourd'hui maréchal de France. Il proposa alors d'adopter une certaine unité de terre et de lui rapporter toutes les autres ; l'unité qu'il avait adoptée était la terre qui peut être immédiatement déblayée à la pelle ou au louchet, ce qui comprend la tourbe, la terre de marais, la terre franche, le sable et le gravier, dont les parties sont peu adhérentes. C'est là la terre *à un homme*; c'est cette terre dont un chargeur charge 15 mètres cubes par jour.

Lorsque la dureté de la terre exige l'emploi de la pioche pour qu'un chargeur puisse remuer 15 mètres cubes, il faut lui adjoindre un ouvrier piocheur ; dans ce cas, la terre est *à deux hommes*.

Elle est *à un homme et demi* lorsqu'un piocheur fait tête à deux chargeurs.

Elle est *à trois hommes*, lorsque deux piocheurs sont nécessaires pour un seul chargeur.

Cette classification est bonne dans les cas ordinaires : elle est adoptée dans le devis modèle du génie de la manière suivante :

L'officier du génie choisit le piocheur et le fait travailler pendant un certain temps ; l'entrepreneur choisit un chargeur et le fait travailler pendant un certain temps tel que toute la terre soit chargée ; alors, en divisant le premier temps par le second, on a le nombre de piocheurs nécessaires. En ajoutant à ce nombre une unité pour le chargeur, on sait à combien d'hommes est la terre.

Dans les Ponts et Chaussées, ce procédé n'est point employé, aussi chacun doit-il bien étudier les terrains à déblayer avant de fixer aucun prix.

**Mode de transport par brouette, quand il s'agit de faire des remblais en hauteur ou des déblais en profondeur.** — Supposons qu'il s'agisse d'un remblai ; si l'on adopte pour le transport par brouettes une pente de $0^m,125$, et si on prend 30 mètres pour longueur d'un relai, on formera ce remblai par suite de rampes de $0^m,125$, commencées en même temps, à des distances de 24 mètres environ, et qui, à mesure qu'elles approchent du couronnement du remblai, diminuent de largeur. En profitant de la différence entre le talus définitif du remblai, qui a 2 mètres de hauteur sur 3 de base, et l'angle d'éboulement des terres, on obtient une distance de $1^m,50$ environ entre le pied d'une rampe supérieure et le bord d'une rampe inférieure qui sert au transport du cube nécessaire pour former la partie supérieure du remblai. Les rampes sont disposées de manière que leur largeur de $1^m,50$ se trouve moitié dans le profil définitif du remblai, moitié en dehors de ce profil, et que l'excédant de terre formant la saillie des ram-

pes compense ce qui manque au-dessus de la moitié intérieure, lorsque l'on dressera les talus, après avoir exploité toute la hauteur.

Pour attaquer un déblai, on divise la profondeur de la tranchée, parallèlement à la surface du chemin de fer, en tranches de 3 à 4 mètres de hauteur, et la longueur en parties de 30 mètres, sur chacune desquelles on établit un atelier. Quand la première tranchée est enlevée, on attaque la seconde, en ménageant une rampe en sens inverse, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on arrive au fond de la tranchée. Les rampes ont généralement $1^m,50$ de largeur, et le sommet de la rampe inférieure est séparé du pied de la rampe supérieure par un palier de 3 mètres environ. Elles doivent toujours être munies de planches bien propres, sur lesquelles, lorsqu'il pleut, on jette des cendres ou des décombres pour empêcher les travailleurs de glisser. Quand les rampes sont accolées deux à deux, on laisse également 3 mètres de distance entre leurs sommets.

Dans ces derniers temps, on a perfectionné ces systèmes en combinant les moteurs avec des appareils qui permettent de les utiliser avec moins de perte. Supposons qu'il s'agisse d'enlever des terres d'une tranchée déjà entamée, on établit de distance en distance des plans inclinés qui sont desservis par des chevaux. Ces plans inclinés sont de diverses sortes, suivant qu'ils doivent recevoir des brouettes ou des wagons. Pour des brouettes, on établit deux voies en fortes planches, terminées par un plancher horizontal et espacées de 3 mètres; le tout est établi sur un tablier en charpente placé sur le talus de la tranchée. Dans l'axe de chacune des voies, on place des poteaux munis de poulies, l'une en haut et l'autre en bas, au niveau du plancher; la corde qui passe sur les poulies d'un poteau est dirigée sur les poulies de l'autre au moyen d'un système de poulies de renvoi, de manière à ce qu'un cheval, au bas ou au sommet du plan incliné, puisse par cette corde continue enlever une brouette pleine et descendre en même temps une brouette vide. De cette manière, on fait très-bien circuler des brouettes à 45 degrés; l'homme qui conduit la brouette n'a rien à traîner; il n'a qu'à la maintenir dans la voie. Arrivé au sommet, il trouve tout près le dépôt où il doit porter les terres. A mesure que l'on descend dans la tranchée, on prolonge le système de la même manière.

Si on veut se servir de petits wagons, on substitue une voie de fer aux planches et on fait remonter ou redescendre les wagons dessus, par un cheval. D'autres fois, pour des tranchées considérables, on emploie une machine fixe à la manœuvre des wagons.

On peut même établir ces appareils ou espèces de fermes, de telle sorte qu'elles puissent être transportées sur des roues, d'une extrémité à l'autre de la tranchée.

Il y a là un emploi bien préférable du moteur, en ce que d'abord il ne s'arrête pas, et ensuite, en ce qu'il ne fonctionne jamais à vide.

**Modes de transport propres aux chemins de fer.** — La distance à laquelle doit commencer l'emploi des voies de fer est déterminée, comme d'habitude, par la comparaison des frais de transport occasionnés par les différents modes à employer; mais il faut tenir compte du prix de la voie de fer provisoire, qui est lui-

même fonction de la distance, et non pas des quantités de terres transportées. Dès lors, on conçoit que le prix restant le même, ce qui n'est pas une dépense avantageuse lorsqu'on n'a pas beaucoup de terres à transporter, peut le devenir dans le cas contraire.

Lors de l'établissement du chemin de fer du Nord, une commission fut chargée d'examiner la question des terrassements par wagons, au point de vue de la dépense. Elle estima que pour établir une voie de fer provisoire, il faudrait dépenser 21 francs par mètre courant, en prenant des rails pesant 16 kilogrammes. La détérioration du matériel a été évaluée à la moitié, d'après ce qui a été prouvé par les soumissions. En obligeant donc l'entrepreneur à reprendre le matériel destiné aux terrassements, déduction faite de la perte due à la détérioration, on trouva que l'emploi de voies de fer provisoires reviendrait à 10f 50 par mètre courant. On examina alors quelle serait cette dépense, en supposant que l'on employât au transport des terres les rails qui devaient définitivement desservir la voie. En admettant une détérioration des $\frac{2}{3}$ pour les traverses, et des $\frac{4}{1000}$ pour les rails, on trouvait 3f 50 au lieu de 10f 50 par mètre courant, ce qui constitue une économie de 7 francs par mètre courant. Cette économie devait être d'autant plus importante que, d'après les calculs qui avaient été faits, la voie provisoire devait avoir les $\frac{3}{4}$ de la longueur de la voie totale. D'après cela, on s'est décidé à employer aux travaux des terrassements les rails définitifs.

**Chargement et déchargement des wagons.** — Considérons d'abord le chargement des wagons au point où l'on creuse une tranchée. On commence par enlever à la fois tout le profil de la tranchée, au moyen de brouettes ou de tombereaux. Dès qu'on a gagné la longueur nécessaire pour l'emplacement d'un système de voies de terrassement, on pose sur le fond de la tranchée quatre voies parallèles à l'axe de cette tranchée et espacées de 4 mètres d'axe en axe ; toutes ces voies se réunissent du côté du remblai, pour en faire une seule, qui se divise immédiatement après en deux. Le mode le plus simple pour le travail serait de placer un wagon sur chaque voie, les quatre wagons avançant parallèlement, et chacun enlevant la partie du profil qui se trouverait devant lui ; mais il ne serait pas le plus avantageux, parce que le nombre des wagons qui pourraient être chargés à la fois serait trop restreint. On préfère pousser en avant les deux voies du milieu qui enlèvent, en l'attaquant de côté, l'espace sur lequel doivent être avancées les deux voies extrêmes. On parvient ainsi à donner au front du travail un développement convenable, et à placer jusqu'à 16 wagons que l'on charge simultanément. On ne peut cependant augmenter indéfiniment le nombre des wagons, à cause des manœuvres nécessaires pour les conduire à la décharge. Les wagons, dès qu'ils sont chargés, sont pris par des chevaux et menés par différents changements de voie dans une voie de garage ; les chevaux ramènent immédiatement des wagons vides, et vont reprendre les wagons pleins pour la décharge. A mesure que

l'étendue de la tranchée augmente, on reporte en avant les changements de voie, pour perdre le moins de temps possible dans la manœuvre de la substitution des wagons vides aux wagons pleins.

Si la profondeur de la tranchée est considérable, on la divise en deux ou trois couches parallèles de 4 à 6 mètres d'épaisseur, et on les attaque, soit simultanément, soit successivement. Mais les assises supérieures étant très-larges, il faut un plus grand nombre de voies de terrassement.

Quant au mode de déchargement des wagons, on a employé deux procédés différents. Le premier consiste à donner au remblai immédiatement toute sa largeur, en employant un rang de wagons placés perpendiculairement à l'axe du remblai, et versant par devant. Dans ce cas, les voies de déchargement se réunissent en une seule en arrière, qui se partage immédiatement en deux, l'une pour les wagons vides, et l'autre pour les wagons pleins.

Un second procédé consiste à pousser la formation du remblai sur la largeur d'une seule voie, avec une grande rapidité en avant, au moyen d'un échafaud mobile, et à compléter le reste de la largeur du remblai par deux simples voies de déchargement. Cet échafaud mobile a reçu le nom de *baleine;* c'est une poutre armée qui porte un chemin de fer, sur lequel on place les wagons de terrassement que l'on vient de vider à l'extrémité d'un remblai en voie d'exécution. La baleine pose par une de ses extrémités sur le remblai, et par l'autre sur un système de charpente qui lui-même est assis sur un petit chariot. Ce chariot est placé sur un chemin de fer auxiliaire établi sur le terrain au pied du remblai, et que l'on enlève d'un bout, tandis qu'on le prolonge de l'autre lorsque le remblai avance. Un wagon de terrassement étant vidé à l'extrémité du remblai, dans l'espace que laissent entre elles les deux branches parallèles de la baleine, on le pousse à l'extrémité antérieure, on en fait autant pour le second, et l'on continue jusqu'à ce que la baleine soit couverte de wagons vides. Un seul cheval les enlève alors et les reconduit au point de chargement.

On a cherché à substituer au travail des chargeurs celui de machines servant à fouiller le sol. Nous citerons surtout une machine appelée *excavateur américain,* qui a été employée sur le chemin de fer du Nord et sur celui du Havre. L'emploi de ces machines présente, en général, l'inconvénient qu'étant sujettes à se déranger, si on n'en a pas plusieurs sous la main prêtes à fonctionner, on peut être entraîné dans des augmentations de dépenses très-considérables.

**Terrassements pour la construction d'un canal.** — La réussite d'un canal dépend quelquefois de la manière dont les terrassements sont exécutés. Lorsque, dans la construction d'une digue, on n'a pas le soin de briser les mottes de terre, l'eau passant dans les vides les augmente, et ne tarde pas à s'ouvrir un passage au travers de la digue. Il faut donc, quand on construit une digue avec les terres provenant des déblais de la cuvette du canal, rendre ces déblais bien menus, et faire labourer ou fouiller à la pioche la surface du sol de manière à établir une liaison parfaite entre le rem-

blai et le sol naturel, et empêcher ainsi les filtrations qui auraient lieu à la séparation des deux terrains.

**Élévation des terres dans les camions.** — Lorsque la fouille doit être très-profonde, comme dans les tranchées qui avoisinent les biefs de partage, et en général quand les déblais, très-considérables, doivent être conduits à une certaine distance, on emploie les camions. Le camion contenant $\frac{1}{10}$ de mètre cube est placé au pied d'un plan incliné sur lequel sont préparées deux voies en bois avec rebords ; là, il est attaché à l'extrémité d'une corde fixée à la lanterne d'un treuil monté sur une charpente ; une autre corde enroulée en sens contraire reçoit le camion vide placé sur la seconde voie. En faisant mouvoir le treuil, le camion plein monte au sommet du plan incliné, et l'autre descend au bas. Ce treuil est mis en mouvement par trois hommes qui marchent sur les fuseaux de la lanterne.

A Vincennes, on a élevé les terres au moyen d'un appareil composé d'un poteau vertical au sommet duquel était adaptée une poulie de 1 mètre de diamètre environ, et d'un tablier qui permettait d'aller du sommet du remblai vers le sommet du poteau et d'y mener et ramener une brouette. Une corde passe sur la poulie ; on accroche la brouette pleine à l'extrémité de la corde qui est au fond de la tranchée, la brouette vide à l'autre extrémité ; l'homme qui doit élever la brouette chargée se met dans la brouette vide et remonte l'autre en s'abandonnant à la pesanteur, avec la précaution de se maintenir à la corde. Il remonte lui-même par une échelle.

Pour élever sur les remparts de Paris les terres provenant de l'escavation des fossés, on a placé deux poteaux comme celui dont nous venons de parler, à une distance un peu plus grande que la hauteur à laquelle les terres doivent être élevées. La corde qui passe sur les deux poulies était continue et mise en mouvement par un cheval.

Les terrassements les plus difficiles qu'on ait à faire sur les canaux sont ceux qui s'exécutent dans l'argile et dans les schistes boueux. En effet, l'eau qui s'infiltre dans le sol s'arrête sur la surface de la glaise, et le sol qui se trouve au-dessus glisse avec une grande facilité dès qu'il n'est pas soutenu ; de sorte que si l'on creuse une tranchée dans un sol de cette nature, et que l'on s'enfonce plus bas que la glaise, toute la masse supérieure ne tarde pas à s'ébouler dans la fouille. C'est ainsi que la tranchée des bois de Saint-Denis, par laquelle le canal de l'Ourcq passe du bassin de la Marne dans celui de la Seine, a été ouverte à plusieurs reprises et s'est toujours à peu près comblée, jusqu'à ce qu'on ait pris le parti d'exécuter les travaux suivants.

Cette tranchée avait de 10 à 14 mètres de profondeur ; à une profondeur de 5 à 6 mètres, se trouvait une couche mince de glaise *ab* (*fig.* 66, *Pl. VI*) sur laquelle les eaux étaient arrêtées, et à mesure que l'on ouvrait la tranchée au-dessous, les terres glissaient dans la fouille. Cependant, on est parvenu plusieurs fois à mettre le canal à profondeur en poussant le travail dans les moments de sécheresse, et en soutenant les terres avec des pieux ; mais lorsque la

saison humide revenait, les éboulements se reproduisaient. C'est alors qu'on a imaginé d'établir à 5 mètres environ sous le talus, et à la hauteur de la couche de glaise, des pierrés ou aqueducs en pierres sèches qui reçoivent les eaux fournies par la glaise, et qui les dirigent dans le canal par des barbacanes exécutées de distance en distance. On a encore diminué la masse des eaux en creusant derrière les cavaliers des fossés qui reçoivent les eaux du sol pour les amener de loin en loin dans le canal; puis on a reformé tous les revêtements de talus en terre franche pilonnée par couches inclinées en sens contraire du mouvement. Ces remblais, n'étant plus délavés par les eaux, ont opposé à la poussée des terres une résistance suffisante, et tous les mouvements ont cessé.

Les terrains de sable argileux imprégné d'eau présentent des difficultés plus grandes encore. Lorsque ce sable est immergé dans la nappe d'eau et que l'on est forcé de le déblayer au-dessous du niveau naturel de l'eau, il glisse et prend une inclinaison de 8 à 10 de base pour 1 de hauteur. Si on veut le maintenir avec des pieux et des palplanches, il exerce une telle poussée qu'il les renverse souvent, si les joints sont bien faits, et que si les joints offrent le plus léger passage, il passe au travers. Pour l'arrêter, il faut placer sur le sable, derrière les palplanches, une certaine quantité d'argile plastique, qui descendra peu à peu le long des madriers à mesure qu'un vide se fera au-dessous; de sorte qu'au bout de quelque temps la paroi finira par devenir à peu près imperméable. Ce revêtement argileux sera cependant insuffisant et n'arrêtera les glissements que si on exécute une maçonnerie assez solide pour résister à un terrain dont l'angle d'éboulement est presque le même que celui de l'eau, et dont la densité est à peu près le double. Si l'on rencontre un tel terrain dans une tranchée profonde, il faut faire les déblais par couches de peu de hauteur quand une fois on est arrivé au niveau de l'eau, afin de faire baisser successivement la nappe souterraine, car ce n'est qu'en épuisant l'eau qu'on peut avoir l'espoir d'empêcher les éboulements. Au lieu d'épuiser les eaux, ce qui présente souvent de grandes difficultés, on peut abaisser leur niveau en leur procurant un écoulement facile. A cet effet, on bat une file de pieux et quelquefois même deux, et on les relie par des entretoises. Derrière on place des enrochements, et alors l'écoulement se fait dans ce fossé encaissé entre les deux files de pieux.

Quand on fait un souterrain ou des murs de soutènement pour s'opposer au mouvement des talus d'une tranchée, il convient de relier les deux murs ou les deux pieds-droits par un radier, si toutefois le sol glaiseux descend jusqu'au fond du canal. S'il ne descendait qu'à la hauteur du chemin de halage, on pourrait se borner à enraciner les murs dans le sol de ce chemin de halage.

Quelquefois les tranchées sont ouvertes dans des terrains schisteux, marneux ou calcaires, qui se soutiennent à pic pendant un certain temps, mais qui s'éboulent ensuite par l'action de la pluie, de l'air et de la gelée. Dans ce cas, on leur fait des revêtements auxquels on donne une dimension moindre que celle qui serait

nécessaire pour résister à la poussée, puisqu'il suffit de mettre ces terrains à l'abri de l'action de l'air.

**Déblais dans les terrains de roche.** — Les roches s'exploitent *au pic à roc*, lorsque cet outil peut les pénétrer, pour les ébranler en agissant sur le manche faisant alors fonction de levier. Le pic se compose d'un morceau de fer taillé en pointe à son extrémité et présentant à l'autre un œillet ou trou rond où s'engage le manche en bois. Si le pic ne peut pas détacher la roche, mais qu'elle soit fendillée, on se sert, en même temps que du pic, du coin, de la masse et de la pince. Les petits blocs sont détachés en introduisant la pointe du pic dans les joints par des coups successifs, et en agissant ensuite sur le manche comme levier. Quand les blocs sont trop forts ou trop solides pour être ébranlés ainsi, on introduit dans les joints, ou dans des tranchées faites exprès, des coins en fer que l'on enfonce à coups de masse jusqu'à ce que le bloc soit détaché. On brise ensuite le bloc en plusieurs morceaux pour pouvoir l'emporter. Si le bloc peut être ébranlé à la pince, on l'emploie de préférence au coin, parce qu'elle est plus expéditive. On sait que la pince est un morceau de fer taillé en biseau d'une longueur qui varie entre 1 mètre et 2 mètres ; on s'en sert comme d'un levier.

Enfin, quand le pic, le coin et la pince ne peuvent agir ou entraînent dans de trop grands frais, on se sert de la poudre pour diviser le rocher.

L'exploitation à la poudre se fait ordinairement en perçant dans la roche des trous de $0^m,025$ à $0^m,03$ de diamètre et de $0^m,30$ à $1^m,50$ de profondeur, dans le fond desquels on met une charge de poudre plus ou moins forte, et sur laquelle on applique une bourre en se ménageant un moyen d'allumer la poudre, dont l'explosion détermine la rupture du rocher en blocs plus ou moins considérables suivant la nature du rocher, la profondeur du trou et le volume de poudre.

Pour percer le trou de mine, on se sert de deux outils : le *fleuret* et la *barre à mine*.

Le fleuret est un outil en fer rond de $0^m,025$ à $0^m,03$ de diamètre, et de $0^m,60$ à $1^m,20$ de longueur, terminé carrément à l'une de ses extrémités et disposé à l'autre en forme de ciseau biseauté avec saillie au milieu. Le ciseau a en largeur quelques millimètres de plus que la tige du fleuret, afin d'éviter le frottement de cette tige contre les parois du trou. Il faut deux ouvriers pour le service du fleuret : l'un tient le fleuret dans la direction du trou à percer, l'autre frappe sur la tête avec une petite masse. Après chaque coup, celui qui tient le fleuret le fait tourner légèrement, afin que le tranchant de l'outil attaque successivement toutes les parties du fond du trou.

La barre à mine ne diffère du fleuret que par la longueur et le diamètre ; elle est assez longue pour qu'un ouvrier debout puisse soulever la barre et la faire retomber avec force dans le trou ouvert d'abord avec le fleuret.

On enlève les débris de la roche avec une curette en fer, formée d'une petite tige ronde à l'extrémité inférieure de laquelle est adaptée une petite cuiller ronde. On jette un peu d'eau dans le trou ;

cette eau forme avec la poussière de roche une sorte de pâte qu'on enlève avec la curette. Quand on veut introduire la poudre dans le trou de mine ainsi pratiqué, il faut, pour enlever l'humidité du fond du trou, y introduire de l'étoupe que l'on bourre et que l'on retire ensuite avec le tire-bourre.

La charge de poudre varie suivant la nature de la roche : dans des trous de $0^m,50$ à $0^m,55$ de profondeur, elle occupe le tiers ou la moitié de la hauteur du trou, ce qui donne en moyenne, pour un trou de $0^m,035$ de diamètre, une charge de $0^k,25$.

On charge les trous soit en y versant directement la poudre lorsque l'inclinaison le permet, soit au moyen de cartouches d'un diamètre convenable. Quand le sol est humide, on enferme la poudre dans du papier goudronné, ou même dans des cylindres en fer-blanc quand les eaux sont abondantes.

Lorsque la poudre est mise à nu dans les trous, on la tasse avec une baguette en bois et on y introduit une épinglette en cuivre terminée à sa partie supérieure par un anneau débordant le trou. Quand l'épinglette a pénétré au milieu de la cartouche ou de la poudre, on fait glisser dans le trou une pelotte de terre argileuse pétrie très-ferme et qui force l'épinglette à s'appuyer contre la paroi du trou le long de laquelle on l'avait placée. Sur la glaise on bourre ensuite avec des débris d'argile sèche et de roche tendre non siliceuse réduite en poussière. Pour que l'épinglette soit ménagée dans cette opération, le bourroir porte latéralement une échancrure : on frappe sur le bourroir avec la petite masse. Le bourroir est plus large à sa partie inférieure que le long de la tige ; il doit être en cuivre pour que l'on n'ait point à redouter les étincelles ; cependant les ouvriers emploient de préférence le bourroir en fer comme s'usant moins vite et étant plus économique.

Lorsque le trou est bourré, on retire l'épinglette et on place l'amorce. Quelquefois l'amorce se fait en versant simplement de la poudre dans le trou de l'épinglette ; d'autres fois on emploie des petits cornets en papier enfilés les uns dans les autres et dont la paroi intérieure est tapissée d'une mince couche de poudre amollie dans l'eau ; la poudre ou les cornets s'élèvent jusqu'à fleur de sol, où l'on place une mèche soufrée plus ou moins longue pour donner le temps aux mineurs de se garer avant l'explosion.

Cette manière d'amorcer a des inconvénients que l'on prévient par l'emploi des fusées de sûreté importées d'Angleterre ; ces fusées sont formées d'une âme en poudre fine avec une première enveloppe en corde et une seconde en ruban roulé en hélice à la surface ; on la garantit de l'humidité par un enduit en goudron ou en résine. On introduit ces fusées dans la cartouche avant de la mettre en place et on bourre dessus sans avoir besoin d'épinglette. Si on charge la mine avec la poudre sans cartouche, on met d'abord la moitié de la charge, puis la fusée qui porte sur la poudre et enfin le surplus de la poudre.

On ne peut charger avec la poudre que les trous qui sont verticaux ou peu inclinés, mais lorsqu'ils sont percés dans toutes les irections, on doit se servir de cartouches.

M. Courbebaisse, ingénieur des Ponts et Chaussées, a imaginé, pour obtenir de très-grands effets, de forer des trous de 7 à 8 mètres de profondeur, et de pratiquer au bas de ces trous des poches capables de contenir 8 à 10 kilogrammes de poudre. Pour cela il verse dans le fond du trou, à l'aide d'un tube métallique, de l'acide chlorhydrique qui attaque le calcaire et forme ainsi la poche nécessaire pour former la chambre de mine. Il préserve les parois du trou de l'action de l'acide, en enfonçant de l'argile et en tournant la barre à mine de manière que l'argile se colle contre les parois dont elle bouche en même temps les orifices latéraux.

Ce mode d'exploitation peut être avantageux quand on peut faire tomber sans inconvénient de gros blocs de rochers.

## SOUTERRAINS.

Quand la profondeur de la tranchée pour l'établissement d'un canal devient trop considérable, il convient de creuser un souterrain, mais il est difficile de fixer à priori la profondeur à laquelle on doit abandonner la tranchée pour entrer en souterrain; cela dépend des dépenses comparatives à faire dans chacun des deux cas.

La largeur des souterrains varie avec celles des bateaux et avec le système de halage que l'on se propose d'employer; ainsi au canal des Ardennes, le souterrain fait pour le passage d'un seul bateau n'a pas de banquettes de halage; on a posé une lisse en fer sur laquelle les bateliers prennent leur point d'appui pour faire avancer les bateaux; aussi le souterrain du canal n'a-t-il que $1^m,20$ de plus que les bateaux, comptés pour $4^m,80$.

Au canal de Saint-Quentin, il y a deux banquettes de $1^m,30$ portées sur des arcades évidées en dessous, mais le souterrain n'a que $5^m,20$, ce qui est trop peu pour des bateaux de $4^m,80$; aussi le halage y est-il très-difficile.

Dans le *Cours de chemins de fer*, tome Ier, nous avons indiqué les moyens de construire des souterrains. Nous ne reviendrons par conséquent pas sur cette matière lorsqu'il s'agit de souterrains creusés au-dessus de la nappe d'eau souterraine; nous n'en parlerons que pour le cas où ils doivent être creusés au-dessous de cette même nappe.

Quand un souterrain doit être creusé au-dessous de la nappe des eaux souterraines, on creuse une galerie de 2 mètres de largeur jusqu'à ce qu'on rencontre la nappe d'eau, et on l'ouvre jusqu'aux tranchées qui terminent le souterrain, afin de donner écoulement aux eaux; puis on approfondit successivement la rigole d'écoulement jusqu'à ce que l'on ait fait baisser la nappe au-dessous du fond du souterrain. Si la nappe d'eau se trouvait plus élevée que l'extrados de la voûte du souterrain, il ne conviendrait pas de creuser la galerie dans l'axe de ce souterrain, il faudrait la placer à côté et parallèlement; car sans cela la galerie trancherait le ciel de l'excavation et rendrait le travail plus dangereux. On choisit pour ouvrir la galerie le côté du souterrain qui paraît devoir fournir le plus d'eau, ce que l'on apprécie en nivelant les puits de part et d'autre de la direction

du souterrain. Cette galerie latérale est d'autant plus nécessaire que les terrains sont moins résistants et que la nappe d'eau est plus élevée ; quand cette rigole a abaissé les eaux jusques au-dessous du souterrain, on n'a plus qu'à percer des boyaux de communication de la rigole au souterrain pour écouler les eaux de celui-ci. Ces boyaux de communication peuvent servir à l'enlèvement des déblais du souterrain et à l'approche des matériaux, au moyen de puits percés à l'aplomb de ces boyaux dont on recouvre le fond par un plancher pour laisser un libre écoulement aux eaux.

On extrait par les puits les déblais de ces puits, ainsi que ceux qui proviennent de la galerie de communication. Pour cette extraction on se sert de seaux ou bennes que l'on élève au moyen de treuils à bras, ou de manéges mus par des chevaux ou par une machine à vapeur.

Lorsque l'on fait usage d'un manége mû par des chevaux, la benne a une capacité plus grande, et pour prévenir les accidents que causerait la rencontre des bennes montante et descendante, on divise le puits en deux compartiments par une cloison à double paroi unie ; on revêt également en planches verticales le blindage des parois du puits. Ce blindage est formé de cadres en bois assemblés à embrèvement, et qui maintiennent contre la paroi du sol des madriers jointifs ou distancés suivant la nature du terrain. Les cadres sont eux-mêmes distants de 1 mètre à $1^m,50$.

## CONSTRUCTION DES ÉCLUSES.

**Appareil.** — Lorsqu'on a déterminé les dimensions de toutes les parties d'une écluse, il reste à arrêter la nature et la forme des matériaux que l'on veut employer à sa construction. L'appareil est la détermination des formes et des dimensions à donner aux pierres employées dans les parements vus ; il dépend de la qualité des pierres que fournit la localité et des dimensions qu'elles comportent.

Quoi qu'il en soit, on ne peut pas se dispenser d'exécuter en pierres de taille les angles, les parties arrondies, les couronnements des bajoyers et des murs en retour, mais surtout les buscs et les chardonnets. En effet, ces parties, étant exposées aux chocs continuels des bateaux ou des portes, n'y résisteraient pas si elles étaient construites avec de petits matériaux.

Quand les pierres d'appareil sont employées dans un parement vertical ou incliné, on les dispose de manière qu'elles fassent des saillies alternativement longues et courtes de part et d'autre de l'arête qu'elles sont destinées à former. On s'arrange dans le choix de ces pierres pour que la distance d'un joint montant à un angle rentrant ne soit pas de moins de $0^m,05$, et pour qu'il y ait entre un joint montant et un angle saillant une distance au moins égale à celle de la saillie. Quand les coulisses n'ont pas plus de $0^m,15$ à $0^m,20$ de profondeur et $0^m,20$ de largeur, on les refouille ordinairement dans les pierres ; pour des largeurs et surtout des profondeurs plus grandes, on peut mettre les joints dans la coulisse.

Les chardonnets et les buscs doivent être exécutés en pierres de taille de choix ; le marbre, le granit doivent être préférés, car ce sont

les parties les plus essentielles d'une écluse. Le busc est destiné à résister à la pression que lui transmettent les portes; il doit être appareillé en coupe; afin de ne pas donner une longueur démesurée aux claveaux, ceux du milieu sont en saillie du côté d'amont et en retraite du côté d'aval sur les autres. Les deux derniers claveaux formant les coussinets de cette espèce de voûte sont engagés sous les bajoyers et sous les chardonnets dont ils forment l'assise inférieure, parce qu'ils sont refouillés pour recevoir le pied des portes et les crapaudines qui les supportent. On donne par conséquent à ces morceaux, qui sont ordinairement très-volumineux, le nom de pierre de crapaudine ou de bourdonnière. La saillie du busc est plus ou moins considérable, suivant la longueur et la hauteur des portes, parce que quand celles-ci sont très-lourdes, elles tendent à briser du nez, et pour qu'elles ne frottent pas sur le radier, on est obligé de les en écarter et par conséquent d'élever le busc. Ainsi, dans une écluse de petite navigation, une saillie de $0^m,20$ serait suffisante; avec un passage de $5^m,20$ à 7 et à 8 mètres, on donne $0^m,25$ de saillie; pour les écluses de 8 à 12 mètres et au-dessus, on donne $0^m,30$. Les pierres des buscs doivent avoir, au-dessous de la saillie du busc, au moins $0^m,35$ à $0^m,40$ pour qu'elles soient engagées suffisamment dans le radier.

Les chardonnets sont taillés de manière que les portes, lorsqu'elles sont fermées, s'appliquent exactement contre la pierre. Dans l'espoir d'obtenir une juxtaposition parfaite, on a arrondi les chardonnets de manière à former une portion de cylindre du même diamètre que le demi-cylindre du poteau tourillon. Il résultait de là un très-grand frottement pendant la manœuvre des portes, et la fermeture n'était pas plus hermétique. Il est préférable de placer l'axe de rotation un peu plus près de la face d'amont que de celle d'aval, de manière que dans son mouvement la porte s'éloigne de ses points d'appui. Ainsi, soit *ab* (*fig.* 67, *Pl. VI*) le milieu de la porte, quand elle est fermée, *a'b'* ce même axe quand elle est ouverte et logée dans son enclave, de manière à se trouver en arrière du plan *cd* du bajoyer; soit *o* le point de rencontre des deux axes; par ce point menons *oe* qui divise en deux parties égales l'angle *a'ob*, puis *fg* parallèle à *a'b'* à une distance égale à la distance du centre de gravité de la porte au plan vertical qui passe par son milieu; au point *h*, où la ligne *oe* rencontre la ligne *fg*, nous abaissons la perpendiculaire *hi*, et le point *i* sera le centre du cercle avec lequel le chardonnet devra être décrit, et la longueur de la porte devra être calculée pour venir s'appuyer sur le cercle *cbb'*.

Si l'on place le pivot en *h*, quand on ouvrira la porte, tous les points du cylindre du poteau tourillon s'écarteront du chardonnet, et quand la porte sera entièrement logée dans son enclave, le point *b* se trouvera en $b_1$, le point $b'$ en $b'_1$, et par conséquent le frottement aura été le moindre possible.

Toutefois, il est nécessaire d'évaser l'enclave à partir du point *o*, parce que, dans une partie du mouvement de rotation autour du point *h*, le tourillon tendrait à repousser le chardonnet.

On ne doit pas donner au tourillon une excentricité sensiblement

plus grande que celle qui vient d'être indiquée, parce que la porte tendrait à se déverser, ce qui fatiguerait le pivot. Le poids de la face d'aval de la porte étant plus fort que celui de la face d'amont, il en résulte que le centre de gravité est environ de $0^m,01$ plus près de la première de ces faces que de la seconde, ce qui suffit pour rendre la manœuvre de la porte très-facile.

Les parties des parements verticaux des écluses comprises entre les chaînes dont nous venons de parler peuvent être faites en maçonnerie de moellons ou de meulières, à l'exception du mur de chute que l'on fait encore en pierres de taille pour résister aux chocs des bateaux auxquels il est exposé ; il en est de même du couronnement de tous les murs. La maçonnerie des parements exécutée avec de petits matériaux doit être faite avec soin et reliée à la maçonnerie de remplissage qui est derrière. Pour relier ce parement au surplus des murs, il convient d'employer de distance en distance des boutisses en pierres de $0^m,70$ à $0^m,80$ ou même de 1 mètre. On augmente beaucoup la liaison des parements en les disposant par harpes.

Le radier doit être consolidé en amont et en aval par des garde-radiers ou plates-bandes en pierres de taille appareillés en coupe, la longueur des claveaux de ces plates-bandes doit être d'autant plus grande que les écluses sont plus larges ; on leur donne ordinairement $0^m,80$ pour une largeur de $5^m,20$, et 1 mètre pour une largeur de $6^m,50$.

Le radier est plan dans les chambres des portes, entre les murs de fuite et entre les coulisses et musoirs d'amont ; mais dans le sas on lui donne la forme de voûte renversée, afin que si l'on vient à mettre le sas à sec, on n'ait pas à craindre le soulèvement de la maçonnerie.

Dans toutes ces constructions, il faut avoir soin de n'employer que de la chaux hydraulique de bonne qualité.

## FONDATIONS DES ÉCLUSES.

Quoique nous ayons fait connaître dans le *Cours de Ponts* les divers modes de fondations des piles et des culées d'un pont, nous croyons devoir revenir sur ce sujet pour ce qui concerne les fondations d'une écluse.

Les parties essentielles d'une écluse, telles que le radier, les buses, les pieds des bajoyers qui se font au-dessous du niveau de l'eau, doivent être exécutées avec le plus grand soin et ne peuvent être faites qu'en tenant à sec l'emplacement que ces ouvrages doivent occuper ; il convient donc de prendre pour cela des précautions particulières.

Dans des fondations par épuisement, il peut se trouver que les eaux sortent par une source très-forte et que cette source soit dans l'emplacement de la maçonnerie ; si l'on maçonnait autour de la source, puis au-dessus, avant que les massifs environnants aient pris corps, il est évident que la source s'ouvrirait une nouvelle issue au travers de la maçonnerie voisine et qu'elle soulèverait le

massif avec lequel on aurait essayé de l'étouffer. Il convient donc dans ce cas de laisser une issue libre à l'eau du côté opposé au parement vu et d'attendre, pour fermer cette issue avec du béton, que toute la fondation soit terminée et que l'on ait laissé remonter les eaux dans la fouille.

Si la source se manifeste dans l'emplacement d'un radier, on lui prépare une issue maçonnée, recouverte en pierres plates, pour l'amener jusqu'au derrière des murs, et on prépare de distance en distance sur cette rigole des trous ronds que l'on bouche avec des tampons en bois pour qu'aucune ordure ne puisse y tomber : les eaux qui coulent ainsi librement ne s'élèvent pas, n'exercent aucune sous-pression, et les mortiers n'étant délavés nulle part, la maçonnerie se trouve dans de bonnes conditions de conservation. Si l'on a plusieurs sources, on tâche de les réunir dans la même rigole. Quand toute la fondation est faite et que l'on est sur le point de laisser monter les eaux, on enlève les bouchons qui ferment les trous de la rigole et on les remplace par d'autres d'une longueur suffisante pour qu'ils s'élèvent au-dessus de l'eau après qu'elle aura repris son niveau.

Quand on s'est assuré, en fermant les issues de la fouille, que les sources sont noyées et ne coulent plus, on introduit l'ajutage d'une pompe foulante dans l'orifice le plus reculé sur la rigole; cette pompe foulante est formée d'un bout de tuyau en bois assez long pour s'élever du radier sur lequel il doit porter jusqu'au-dessus du niveau de l'eau; à son extrémité inférieure est adapté un ajutage en tôle de même diamètre que le tuyau et disposé pour entrer dans les orifices de la rigole. On maintient ce tuyau dans une position verticale, on y introduit avec une espèce d'entonnoir de très-bon mortier, et on continue à en verser jusqu'à ce qu'il n'en puisse plus entrer dans le tuyau. Il est entendu que pour faire toute l'opération on a soin d'enlever, outre le tampon du trou où le tuyau est placé, les tampons les plus voisins, afin de faciliter la sortie de l'eau qui remplit la rigole à mesure que le mortier s'y introduit; car on conçoit que si tous les orifices restaient bouchés, l'eau ne sortant pas, le mortier ne pourrait entrer; c'est par ce motif que le premier trou doit être à l'extrémité la plus reculée de la rigole et que l'on commence par celui-là. Quand le mortier cesse d'entrer dans le tuyau, on y pousse avec force une verge en fer pour le faire dégorger, et si ce moyen ne suffit pas, on introduit dans le tuyau un tampon en étoupe sur lequel on place une espèce de piston qui a du jeu dans le tuyau, on frappe avec un maillet sur le piston, ce qui fait quelquefois dégorger le tuyau d'où l'on retire le piston, puis le tampon d'étoupe que l'on saisit avec un crochet, et l'on recommence l'opération jusqu'à ce que l'on arrive à un refus absolu. Alors on reporte son tuyau au trou suivant, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que l'on ait obtenu un refus absolu dans tous les trous. Quelquefois le mortier introduit dans un des trous sort par les trous voisins; on prévient cet effet en mettant d'avance des tuyaux dans ceux où le mortier s'élève.

Si la rigole avait plusieurs rameaux, il conviendrait de verser à

la fois du mortier dans chacun d'eux, de manière à y arrêter les versements quand ils seraient remplis jusqu'à la branche principale.

### PORTES D'ÉCLUSES.

Les portes des écluses sont formées, pour des canaux de grande section, de deux ventaux symétriques butant l'un contre l'autre et s'appuyant du pied contre le busc, et latéralement contre les chardonnets. Les portes n'ont qu'un seul ventail pour les canaux de petite navigation. On les exécute : 1° en bois avec ferrures pour les consolider ; 2° en fonte, fer et tôle ; 3° en fonte, bois, fer et tôle ; 4° en fonte.

Chaque ventail des portes en bois se compose de deux poteaux verticaux et d'entretoises horizontales (*fig.* 68, *Pl. VI*). Le poteau tourillon est arrondi suivant la même courbure que le chardonnet ; il porte du bas sur une crapaudine et est maintenu du haut par un collier placé au-dessus du niveau des eaux supérieures. Ces poteaux ne descendent ni l'un ni l'autre jusqu'au radier de la chambre des portes, ils en restent éloignés de $0^{m},05$ ou $0^{m},06$, afin qu'un léger abaissement du ventail ne produise pas un frottement sur le radier. Les entretoises sur lesquelles s'exerce la pression de l'eau se placent, celle inférieure à $0^{m},10$ ou $0^{m},12$ au-dessus du radier, celle supérieure à $0^{m},10$ au-dessus du niveau des eaux navigables ; les autres sont réparties entre les deux extrêmes, en ayant égard à l'élasticité des bordages qui les réunissent. On relie toujours les poteaux et les entretoises par une pièce inclinée qui, partant du haut du poteau busqué, vient s'assembler au pied du poteau tourillon ; cette pièce, nommée *bracon*, est formée de deux parties : l'une, noyée dans le bordage, est d'une seule pièce du côté d'amont, et du côté d'aval, elle est découpée en autant de morceaux qu'il y a d'intervalles entre les poteaux et les entretoises. Les extrémités de ces fourrures sont assemblées à embrèvement dans les entretoises et poteaux, et chacun des morceaux est fixé à la pièce antérieure par deux boulons. Les madriers sont placés en décharge parallèlement au bracon et cloués dans une feuillure. Mais pour ne pas affaiblir les entretoises par les embrèvements, on peut renoncer à ces assemblages au moyen d'un tirant ou écharpe en fer fixé d'un bout au haut du poteau tourillon et de l'autre au pied du poteau busqué. On place sur cette écharpe une moufle à coins, pour relever au besoin la porte si elle vient à baisser.

On peut encore, pour consolider les assemblages des poteaux avec les entretoises, employer des étriers ou bien des morceaux de fer présentant la forme d'une équerre double; mais il faut que ces étriers soient parfaitement noyés dans le bois, afin de ne pas gêner le mouvement de rotation du poteau tourillon ni causer de perte d'eau.

Pour remplir et vider les sas, on se sert de ventelles placées entre les entretoises inférieures ; on assemble dans ces entretoises des potelets qui forment les joues des orifices ; on fixe aux potelets, par des boulons, les coulisses placées sur le bordage de la porte pour recevoir les ventelles. On exécute ces vannes ou ventelles soit en

bois, soit en fonte, soit en tôle ; on les lève en général au moyen de crics, et quelquefois au moyen de vis fixées soit au balancier, quand il y en a un suffisamment élevé, soit à une armature adaptée à la partie supérieure de la porte.

Pour pouvoir manœuvrer les ventelles et passer d'un bajoyer à l'autre, on fixe à la porte, côté d'amont, et à quelques centimètres au-dessus du couronnement de l'écluse, un fort madrier de $0^m,40$ au moins de largeur, supporté par deux ou trois forts corbeaux en fer; on peut aussi établir une main courante pour faciliter la manœuvre et le passage sur le pont.

Les crapaudines et tourillons ont la forme indiquée par la *fig.* 69, *Pl. VI*. La crapaudine femelle est encastrée dans l'about inférieur du poteau consolidé par une forte frette; la crapaudine mâle est scellée dans la pierre de crapaudine.

M. Poirée a fait faire au canal du Nivernais des portes en fonte et bois, dans lesquelles il n'y a de bois que sur les faces opposées des poteaux busqués et sur les entretoises inférieures, afin d'obtenir une juxtaposition indispensable pour prévenir les pertes d'eau. Le poteau tourillon est en fonte creuse, avec une âme en bois à l'intérieur, ainsi que les entretoises; le poteau busqué est formé d'une bande de fer encastrée dans un poteau en bois. Le revêtement est en feuilles de tôle reliées entre elles par des rivets.

Au canal de l'Ourcq on a exécuté des portes formées d'une carcasse en bois sur laquelle on a appliqué un revêtement en tôle. Ces portes sont consolidées : 1° par un bracon et des équerres en fonte, placés, le bracon entre la deuxième, la troisième et la quatrième entretoise; les équerres, aux angles des poteaux et des entretoises supérieure et inférieure; 2° par une écharpe en fer forgé.

Le revêtement en tôle, les ventelles et les coulisses s'exécutent avec des feuilles de tôle dont les dimensions sont déterminées d'avance.

Le pourtour du revêtement, qui a $0^m,0045$ d'épaisseur, est engagé de son épaisseur dans une feuillure préparée à cet effet dans les poteaux et dans les entretoises supérieure et inférieure, et on le recouvre par un cadre en fer forgé fixé par des boulons.

La crapaudine femelle, adaptée à la partie inférieure du poteau tourillon, est une espèce de sabot qui s'étend sous l'entretoise inférieure et embrasse le poteau.

L'axe de la partie supérieure est un goujon à œillettes enfoncé dans le poteau et fixé par un chapeau en tôle ou en fonte.

En comparant ces divers systèmes, l'expérience a fait tirer les conclusions suivantes :

1°. Les revêtements en tôle doivent être préférés aux bordages en bois toutes les fois que l'on a intérêt à ménager l'eau, puisque par là on évite presque entièrement les fuites.

2°. La carcasse en bois seule doit être préférée sur les canaux de navigation ordinaire, où l'on se procure facilement des bois qui ont généralement des dimensions ordinaires.

3°. Les poteaux en fonte avec entretoises en bois, renforcés ou non de tôle, doivent être employés sur les rivières fréquentées par de

grands bateaux, où la navigation est très-active et où il ne doit pas y avoir de chômage. On doit alors éviter le placement d'une entretoise à peu près au niveau de l'étiage, parce que dans cette position elle durerait peu et elle serait difficile à remplacer.

4°. Les entretoises et les poteaux busqués en fonte présentent des dangers, parce qu'ils peuvent être rompus par le choc des bateaux et que ces ruptures occasionnent de graves inconvénients.

5°. Les bracons et les écharpes sont inutiles avec des revêtements en tôle qui offrent une résistance illimitée aux portes dans le sens vertical.

6°. Les portes en bois avec écharpes en fer pour rendre le bracon inutile, avec madriers verticaux et coulisseaux des ventelles qui s'élèvent de l'entretoise inférieure à l'entretoise supérieure, enfin avec une traverse horizontale qui réunit les deux poteaux pour recevoir le cric, sont les plus économiques que l'on puisse employer.

Pour manœuvrer les portes des canaux on se sert du balancier, et à défaut de balancier on se sert de simples béquilles, de béquilles à treuil, de quarts de cercle dentés, de barres dentées, etc.

# NOTIONS

SUR

# LES DESSÉCHEMENTS ET LES IRRIGATIONS.

**Desséchements.** — Quand les eaux sont stagnantes à la surface du sol ou à de faibles profondeurs, par suite du défaut de pente des champs et des prés et de l'imperméabilité du sol et du sous-sol, il faut, pour assainir les terrains pénétrés, faciliter leur écoulement au moyen de fossés ou de canaux où la profondeur doit être telle que leur fond soit plus bas que la partie inférieure de la nappe d'eau stagnante.

Lorsque l'eau ne séjourne que dans des parties isolées d'un terrain et qu'elle est peu abondante, il suffit de faire dans les bas-fonds de ces parties des petites saignées de 10 à 20 centimètres de largeur moyenne pour conduire les eaux dans des fossés de ceinture ; alors on laisse ces saignées ouvertes, parce qu'elles conservent mieux leur écoulement, et on se borne à les curer de temps en temps.

Quand les eaux à évacuer sont fort abondantes et que le terrain en est généralement et fortement pénétré, les fossés et les canaux doivent être larges et profonds et rester ouverts pour que l'écoulement soit plus libre, ainsi que pour faciliter leur curage, surtout lorsque les eaux charrient des vases ou du sable. Les canaux ouverts étant gênants pour la circulation des voitures, dangereux pour le bétail et incommodes pour les irrigations, le mieux est de les établir au pourtour de la propriété; mais alors, pour diminuer les inconvénients de leur profondeur et pour éviter les pertes des récoltes sur leur superficie, il convient d'abattre leurs bords intérieurs en plans inclinés et de les raccorder en courbes adoucies avec la surface des champs ou des prés. Cette disposition a l'avantage de prévenir les éboulements des berges, de faciliter le curage et surtout de donner des récoltes sur cette surface de raccordement. Quand ces fossés d'assainissement bordent un pré, on réserve les gazons levés tant pour leur ouverture que pour l'inclinaison à donner à leur berge intérieure, et on les applique ensuite sur une surface arrondie, en sorte qu'elle produit immédiatement. Ces sortes de fossés sont indiqués dans la *fig.* 1, *Pl. VII*, dans laquelle les hachures croisées indiquent les gazons rapportés. Les terres qui proviennent de ces creusements sont employées à faire des banquettes de clôture, ou bien on les étend en les semant sur le pré pour les terreauter.

Lorsque les eaux stagnantes s'étendent sur la presque totalité du terrain, mais sont peu abondantes et ne proviennent que de filtrations lentes, comme il arrive le plus souvent, elles sont ordinairement claires et de faible volume ; on peut alors employer pour les écouler des rigoles couvertes qui sont préférables, parce qu'elles

laissent toute liberté et toute facilité pour les irrigations, pour l'enlèvement des récoltes et pour le pâturage, et qu'elles redeviennent immédiatement productives, soit en y plaçant des gazons enlevés pour leur ouverture, soit en les semant.

Avant d'établir les rigoles d'assainissement à travers la prairie et dans les parties où l'eau séjourne, il faut toujours commencer par creuser, le long de son bord supérieur et sur les deux coteaux latéraux, de larges fossés ouverts jusqu'à 20 ou 30 centimètres de profondeur au-dessous de la surface du sous-sol imperméable, pour arrêter, recueillir et détourner les eaux de filtration qui arrivent du haut et des côtés, et pour les conduire au bas de la prairie.

Les tracés des directions à donner aux canaux et aux rigoles d'assainissement, couverts dans l'intérieur de la prairie, exigent des soins particuliers et peu d'art. Il faut commencer par faire sur tout le terrain à assainir de nombreux sondages avec une petite sonde à la main, garnie d'une mèche en forme de tarière, pour connaître les profondeurs relatives auxquelles se rencontre le sous-sol imperméable qui retient les eaux, parce que ce sont les baissières de ce sous-sol qu'il importe de faire suivre aux canaux et aux rigoles plutôt que les parties basses de la superficie. Quelquefois les uns et les autres s'accordent quand l'épaisseur de la terre végétale est à peu près uniforme; mais le plus souvent elles diffèrent beaucoup, et c'est ce dont il importe de s'assurer avant de tracer les canaux et les rigoles; le mieux est d'établir sur la prairie des lignes parallèles et à égale distance au moyen d'un cordeau divisé en mesures égales, de placer à chacune des divisions un piquet numéroté et de porter sur un carnet le résultat de sondage fait à chacun de ces piquets avec son numéro.

Quand on connaît bien par les notes des sondages les directions que suivent les baissières du sous-sol, on établit le tracé du canal central si le terrain a peu d'étendue, ou des canaux principaux si les dimensions et les variations d'inclinaison en exigent plusieurs, de manière à leur faire suivre les directions générales des baissières les plus prononcées du sous-sol, sans cependant s'astreindre à suivre trop exactement les petites déviations et en évitant de leur faire former des angles ou des coudes trop brusques. Il faut tracer des couches adoucies qui s'accordent avec les directions générales des baissières, à moins que celles-ci ne se trouvent régulières et en ligne droite, ce qui est rare.

En général, les canaux doivent atteindre la surface du sous-sol ou en approcher le plus près possible. Quand il présente des cavités, on peut les remplir en pierres; et lorsqu'on rencontre dans ces creusements des saillies ou des bourrelets en travers du sous-sol, il faut les couper pour donner une pente régulière au fond des rigoles.

Les canaux principaux d'assainissement en travers de la prairie doivent avoir leur origine dans les parties les plus élevées du terrain et aboutir aux parties les plus basses, où leurs eaux sont réunies dans un fossé général d'égout à la lisière inférieure de la propriété.

Le volume des eaux auxquelles ces canaux doivent procurer de l'écoulement augmentant constamment vers leur débouché, il faut augmenter aussi progressivement en descendant leur largeur et leur profondeur. Les rigoles secondaires ou saignées, qui ont de plus petites dimensions que les canaux, se font latéralement sur leurs côtés et vont s'y réunir de droite et de gauche. On les trace de la même manière, en ayant soin de les faire concorder avec les ramifications des baissières du sous-sol. Leurs jonctions avec les canaux ne se font pas perpendiculairement, mais obliquement, de manière à former avec eux des angles très-aigus, comme on le voit dans la *fig.* 2, *Pl. VII*). Ces rigoles doivent, comme les canaux et par les mêmes raisons, être plus souvent courbes que droites ; et alors les courbes doivent toujours, en arrivant au canal, lui présenter leur convexité pour s'y joindre tangentiellement comme l'indique la *fig.* 2.

La largeur des canaux dépend de leur profondeur et du volume des eaux. En général, il suffit de leur donner 50 centimètres de largeur moyenne quand leur profondeur est de 70 à 80 centimètres. Pour assurer leur conservation et prévenir les éboulements, il ne faut pas couper leurs côtés d'aplomb comme on le fait souvent, mais en pente, de manière à ce que leur largeur au sommet soit à peu près double de la largeur du fond. Cette disposition est surtout nécessaire pour les canaux qui doivent être remplis et recouverts, afin que les gazons et la terre dont on les garnit au-dessus des pierres se compriment en descendant, et qu'étant serrés en coin, ils ne puissent pas descendre trop bas et boucher les cavités inférieures ménagées pour l'écoulement des eaux. On peut encore, au lieu de couper les côtés de ces fossés en plans inclinés, les couper en redans qui s'opposent encore mieux à la descente du remblai (*fig.* 3, *Pl. VII*).

Les fonds de ces fossés ne doivent pas être plats, comme on a la mauvaise habitude de les faire, mais concaves, en forme de cuvette, pour centraliser les petits courants d'eau, afin d'éviter qu'ils se portent sur les côtés où ils pourraient former des cavités nuisibles, et de leur donner la force d'entraîner les vases et les sables.

Les canaux et les rigoles d'assainissement peuvent s'exécuter de plusieurs manières : on peut les faire en pierrées, en plaçant de chaque côté du fond un rang de pierres de hauteur à peu près égale, de fortes dimensions, ou de grosses briques ; on les met de champ, mais en les inclinant légèrement en dehors, et en les appliquant contre les faces inclinées aussi des côtés du canal. Pour leur donner plus de stabilité et empêcher que la pression supérieure les fasse renverser en dedans, on couvre ces deux rangs avec des pierres plates ou des briques longues suivant les ressources de chaque localité (*fig.* 4, *Pl. VII*). Les eaux de filtration ont alors un écoulement facile dans le vide qui reste au milieu. Il faut se garder de maçonner les pierres qui forment les côtés de ces pierrées, parce qu'il faut laisser le plus de liberté possible aux filtrations latérales du fond.

Lorsqu'on ne peut pas facilement se procurer des pierres convenables et suffisamment bonnes pour former ces pierrées régulières,

on peut en établir d'autres qui n'exigent que des pierres irrégulières et qui peuvent remplir également le but proposé, quand les eaux de filtration ne sont pas abondantes.

Pour les canaux principaux ayant 30 à 40 centimètres de largeur au fond, on commence par établir au milieu de leur fond et sur une ligne continue un rang de pierres, les plus plates posées de champ et un peu enfoncées dans le sol par le battage à la masse ; ensuite, de chaque côté de ce rang, on place de grosses pierres en mettant leurs queues dans les angles du fond du canal et en appuyant leurs têtes sur celles du rang du milieu, de manière que les deux rangs latéraux se contrebuttent par leurs inclinaisons opposées (*fig.* 5, *Pl. VII*).

On recouvre ces trois rangs de pierres ainsi arrangés de pierres brutes moyennes sans arrangement, en ayant seulement soin que ces dernières couvrent les plus grandes ouvertures qui résultent des irrégularités de celles des premiers rangs. On jette par-dessus ce second rang un lit de pierres moins grosses, et sur celles-ci de petites pierres et du gravier que l'on comprime en le pilonnant, puis enfin de la terre grasse ou compacte que l'on bat fortement, et l'on finit par gazonner ou semer. Il faut qu'il y ait 25 centimètres au moins d'épaisseur de terre battue au-dessus du gravier, pour que les rigoles d'irrigation ne perdent pas l'eau à la traversée des rigoles d'assainissement. Pour les rigoles étroites comme pour les rigoles secondaires et latérales, on supprime le rang du milieu et on se borne à établir deux rangs de pierres, les plus fortes des deux côtés de la cuvette du fond, en les faisant incliner et butter les unes contre les autres, puis on garnit et l'on recouvre, comme pour les autres pierrées, en pierres moyennes, petites, graviers et terre compacte bien pilonnée (*fig.* 6, *Pl. VII*).

Quand on manque de pierres, ou quand on peut avoir plus facilement du bois de taillis et de fascine, on garnit le fond des canaux et des rigoles avec des saucissons composés de branches les plus longues possibles, sans feuilles ni ramilles ; on donne à ces saucissons, que l'on évite de trop serrer dans leurs harts, un diamètre un peu plus grand que la largeur du bas du canal ou de la rigole à garnir, afin qu'étant enfoncés de force, ils serrent contre les parois et ne descendent pas jusqu'au fond de la cuvette, et qu'ils laissent un libre passage aux eaux. On place les saucissons bout à bout, ensuite on les recouvre avec de larges gazons renversés, c'est-à-dire le côté herbu sur les fascines, puis on remplit de terre compacte pilonnée que l'on bat bien, et par-dessus on gazonne ou on sème (*fig.* 7, *Pl. VII*).

Quand on n'a pas de gazons pour mettre sur les fascines, on les couvre avec des petits fagots de bruyère, de genêt, de fougère, de menues branches ou de joncs que l'on place en travers et bien jointifs (*fig.* 8, *Pl. VII*) ; puis on les recouvre de gravier ou de sable et de terre compacte bien pilonnée. Ces rigoles sont très-durables, quoique garnies en bois, parce que quand bien même ce bois est pourri, le terrain de recouvrement étant alors bien consolidé, le vide se conserve au-dessous, et ne fait que s'augmenter par la décom-

position des fascines, en sorte que l'écoulement des eaux est toujours assuré.

Quant aux terrains détériorés par les eaux stagnantes qui sont très-bas relativement aux terrains environnants et tellement situés que l'on ne puisse pas faire déboucher au dehors, par le seul effet des pentes, les eaux réunies dans les parties inférieures par les canaux d'assainissement, on peut employer pour les en délivrer deux moyens différents : le premier, qui est toujours possible, mais assez dispendieux, consiste à former au point de réunion des eaux un bassin ou un large fossé, et à établir un chapelet à godets, une noria ou une vis d'Archimède, que l'on fait mouvoir par un manége ou par un petit moulin à vent, de manière à élever les eaux au-dessus des obstacles qui s'opposent à leur libre écoulement. Ce moyen, qui n'est applicable que quand les terrains à assainir ont une grande étendue, est employé dans beaucoup d'endroits de la Flandre et des Pays-Bas, qui sont devenus d'excellentes prairies, et qui avant ce moyen de desséchement n'étaient que des marais improductifs.

Le second moyen, applicable aux terrains qui manquent de débouchés, est celui des puits absorbants ou boit-tout ; mais on ne peut employer ce procédé que quand le sous-sol imperméable qui arrête les eaux n'a pas une trop grande épaisseur, et quand au-dessous de lui se rencontré un sol perméable en gravier, en sable, ou bien en roche caverneuse et feuilletée. Le percement de ces puits absorbants s'exécute à la sonde, comme celui des puits artésiens pour les eaux ascendantes. Pour empêcher que les vases, les sables et les ordures que les eaux à évacuer peuvent entraîner ne bouchent les fissures ou les interstices de la couche perméable qui doit leur donner passage, il convient de former autour du sommet du tube placé dans le trou d'absorption un puits de $1^m,50$ de diamètre et 2 mètres de profondeur en contrebas du sol ou de la surface du réservoir des eaux (*fig.* 9, *Pl. VII*). Le tube de forage A s'élève de 60 à 80 centimètres au-dessus du fond du puits, et sa tête est garnie d'une boule B percée de trous, en forme de tête d'arrosoir. Il résulte de cette disposition qu'il n'entre dans le tube que l'eau claire ou chargée seulement de limons fins qui, facilement entraînés par le courant d'écoulement, ne peuvent nuire. Toutes les matières, telles que sables, graviers, plantes, feuilles, etc., se déposent au fond du puits ; on les enlève par des curages périodiques et l'on prévient par là l'obstruction des canaux d'absorption qui a souvent lieu quand on ne prend pas cette précaution.

Pour connaître la possibilité d'établir un puits absorbant, on commence par faire un simple sondage de petit diamètre avec la sonde à la main qui fait connaître l'épaisseur du banc imperméable et la nature du terrain sur lequel il repose.

**Débordements des cours d'eau.** — Lorsque les débordements d'un cours d'eau couvrent de grandes étendues de terrain, on ne peut y remédier qu'en régularisant et en diguant le courant qui les produit. Alors il faut le concours de tous les propriétaires exposés aux inondations, et un projet d'ensemble pour la totalité ou au moins pour une partie notable du lit à régulariser.

Lorsque le courant qu'il s'agit de contenir dans un lit régulier est une rivière à grand volume d'eau, ou un torrent à forte pente, il est nécessaire que l'étude de leur régularisation soit faite par un homme de l'art expérimenté dans cette sorte de travaux.

Lorsque les débordements sont produits par des ruisseaux ou des rivières qui submergent leurs berges, mais dont les lits n'ont pas besoin d'être rectifiés, on peut s'en garantir par des ouvrages d'une exécution facile. En effet, de simples levées en terre bien établies, avec des talus en pente douce et gazonnés, suffisent pour résister aux eaux de débordement les plus considérables et les plus rapides; les soins principaux qu'elles exigent pour en assurer le succès consistent dans les directions à leur donner et dans les dispositions de leurs têtes d'amont et d'aval, pour empêcher qu'elles soient entamées quand elles se trouvent isolées.

La tête d'amont d'une nouvelle digue doit toujours être établie en raccordement avec une digue ancienne, ou s'appuyer sur une partie de terrain résistante et assez élevée pour ne pas être surmontée par les eaux des plus grandes crues. Ces directions doivent être sensiblement parallèles aux directions générales que suivent les eaux de débordement, pour que les courants qu'elles déterminent soient, autant que possible, tangents aux talus des digues, et qu'ils glissent contre ces talus au lieu de les heurter.

En général, sauf les cas où les courants sont en ligne directe, ce qui est rare, les digues de garantie contre leurs débordements doivent être constamment tracées en courbes à peu près parallèles aux courbes générales que formerait le courant lui-même, si on le régularisait en supprimant les sinuosités et les contours trop brusques (*fig.* 10, *Pl. VII*).

Quand le tracé passe d'une courbe concave à une courbe convexe, et réciproquement, il faut avoir soin de les séparer par une ligne droite tangente à l'une et à l'autre, comme on le voit dans les parties CD et EF du tracé des levées projetées (*fig.* 10).

Lorsque ces courants forment des angles prononcés, il faut couper ces angles en régularisant la rivière; et quand on ne le peut pas, il faut en éloigner la digue le plus possible et la diriger en courbes concaves.

Pour pouvoir établir des tracés réguliers indépendamment des irrégularités des courants, et pour mettre mieux les digues à l'abri de l'action de corrosion des rives, il convient de les écarter des bords du courant et de laisser entre eux, autant qu'on le peut, une banquette de garde gazonnée, indiquée par les lettres GG dans les *fig.* 11 *et* 12, *Pl. VII*. En outre, les rives étant ordinairement inclinées, en éloignant les digues on diminue par là leur hauteur et les dépenses de leur exécution.

Il est indispensable, pour la garantie du pied de la digue, que la bande du terrain, ou banquette de garde GG, qu'on doit toujours laisser entre la digue et le bord habituel de la rivière, soit en pente régulière et bien gazonnée depuis le pied de la digue jusqu'à la rive des basses eaux; quand cette inclinaison n'existe pas, et surtout quand la rive présente une coupe verticale, il faut déblayer pour lui

donner une pente régulière et uniforme jusqu'à la surface des basses eaux, puis la recouvrir d'un gazon épais fortement piqueté. Pour assurer la reprise du gazon, il faut, en déblayant, relever la terre végétale ou le sable fin, et en recouvrir la surface du terreau déblayé en pente avant de placer le gazon.

On ne doit jamais exécuter ces digues pendant la sécheresse ni quand il gèle.

Les dimensions de ces digues dépendent des hauteurs auxquelles s'élèvent les débordements; leur sommet ou couronnement doit être plus élevé de 50 centimètres au moins que le niveau des plus hautes eaux; 25 centimètres au-dessus des plus hautes crues suffiraient sans doute pour empêcher les débordements; mais il faut considérer qu'il y a toujours des tassements dans les remblais, même quand ils sont bien pilonnés; et qu'en outre, en empêchant ou en restreignant les débordements on produira une surélévation de hauteur dans le lit du ruisseau ou de la rivière, et qu'il faut y parer d'avance.

Le tracé des alignements et des courbes de la digue projetée étant établi suivant les principes qui précèdent, on plante sur ce tracé, à 10 ou 15 mètres de distance les uns des autres, des piquets HH dont les têtes doivent se trouver à un demi-mètre d'élévation au-dessus des niveaux des plus grands débordements. Les têtes de ces piquets marquent l'arête extérieure du couronnement de la digue.

Pour marquer les pieds du talus de la digue en dehors et en dedans, on plante vis-à-vis chaque grand piquet de hauteur deux petits piquets, savoir : l'un en dehors du côté de la rivière, à une distance égale à $1\frac{1}{2}$ fois la hauteur du grand piquet, et l'autre en dedans, du côté des champs, à une distance égale à l'élévation du piquet de hauteur, augmentée de la largeur du couronnement de la digue qui doit être de 40 à 50 centimètres, pour donner au talus intérieur une pente de 45 degrés, c'est-à-dire une largeur de base égale à la hauteur qui ordinairement est suffisante, à moins que la terre ne soit trop légère; dans ce cas on augmente la longueur de ce second talus pour rendre sa pente plus douce.

D'après ces indications, la largeur de la base d'une digue de 1 mètre de hauteur serait de 3 mètres; celle d'une digue de 2 mètres de hauteur serait de $5^{m},50$.

Le talus intérieur peut être droit et plat; mais il convient de faire le talus extérieur concave pour plusieurs raisons : la première, c'est qu'il se raccorde mieux avec la banquette de garde HH; la seconde, c'est qu'il donne moins de prise à l'eau, qui y glisse plus facilement; enfin c'est qu'elle diminue ainsi un peu le cube du remblai. Cette disposition est d'ailleurs rationnelle, puisqu'elle donne le plus de largeur à la base qui supporte les plus grandes charges et qu'elle diminue celle du sommet qui en a le moins.

Cette disposition est indiquée dans la *fig.* 11, *Pl. VII*, qui est le plan de la digue, et dans la *fig.* 12, *Pl. VII*, qui représente son profil ou coupe en travers sur une plus grande échelle, et dans lesquelles II indique le courant d'eau, les lettres HH la banquette de

garde, K le talus extérieur concave, L le couronnement de la digue, M le talus intérieur.

Les limites des talus intérieurs et extérieurs de la digue étant tracées par les deux rangs de petits piquets, on enlève à la bêche les gazons compris entre ces deux lignes, en les coupant avec soin en forme de carrés longs, et on les empile sur la banquette de garde, à 2 mètres au delà du pied du talus, puis on déblaye la terre végétale située au-dessous, sur 15 à 20 centimètres d'épaisseur, et on en forme un bourrelet de dépôt entre les piles de gazons et le pied du talus.

Ces deux dépôts sont aussi réservés pour être employés en revêtement et recouvrement du remblai qui formera le corps de la digue. Il faut avoir soin ensuite de piocher le sol sur lequel doit être fait le remblai pour assurer leur liaison. Lorsque le sol est en gravier, il faut faire en avant, du côté de la rivière, une tranchée de 40 à 50 centimètres de profondeur et de 40 de largeur, que l'on remplira de terre grasse bien pilonnée pour empêcher les eaux de s'infiltrer entre le déblai et le remblai.

Le corps de digue indiqué par la lettre O, *fig.* 12, et par des hachures verticales dans la *fig.* 14, *Pl. VII*, peut être formé avec des graviers fins extraits de la rivière, et que l'on mélange de terre ou de limon le plus possible, ou par des déblais de terres de qualité inférieure, quand on en a à proximité; les plus grasses sont les meilleures; les sables n'y sont pas propres, à moins qu'ils ne soient gras. Quand on ne peut obtenir des terres convenables pour ce travail sans de grands transports, le mieux est de creuser un fossé très-évasé en arrière de la digue, comme il est indiqué par les lettres PP, *fig.* 12, ce qui évite tout transport.

On lui donne beaucoup de largeur et des pentes douces et arrondies, d'abord pour obtenir une plus grande quantité de terre végétale nécessaire pour les revêtements de la digue et pour assurer la prompte reprise des gazonnements qui sont la garantie de l'ouvrage; ensuite pour pouvoir cultiver ces fossés et en tirer produit, tandis que la place qu'ils occupent serait improductive s'ils étaient creusés comme les fossés ordinaires.

La largeur de ces fossés doit être à peu près égale à celle de la base de la digue, et leur profondeur doit être telle qu'ils puissent fournir le remblai du corps de cette digue, pour éviter les transports, qui sont toujours une cause de grande dépense.

On commence par lever les gazons qui s'y trouvent, puis ensuite la terre végétale, et on en forme des dépôts continus, en dehors du fossé, du côté du pré ou du champ; puis on enlève la masse de terre inférieure de la profondeur du fossé indiquée par la lettre R et par les hachures verticales, et on l'emploie vis-à-vis à former le remblai O du corps de la digue représenté en hachures horizontales.

Ce remblai doit avoir la même forme que la digue, sauf l'épaisseur des revêtements en terre ou en gazons sur les talus. Il faut faire ce remblai par couches successives et horizontales de 30 à 40 centimètres d'épaisseur, et à moins qu'ils ne soient humides, les arroser, puis les tasser fortement avec des dames à pilonner.

L'arrosage et le pilonnage ont pour but de prévenir les tassements, et surtout de donner au massif assez de consistance et de fermeté pour résister à la pénétration des eaux, pour le cas où une crue arriverait avant la consolidation ou la reprise des gazons de revêtement.

On emploie ensuite le bourrelet de terre végétale réservé sur les banquettes de garde à remplir la tranchée ouverte sur le devant de la digue ; on l'arrose et on le pilonne avec soin ; puis on garnit tout le talus extérieur concave avec cette même terre végétale sur 10 à 15 centimètres d'épaisseur, en la battant avec soin. Ensuite, si la terre n'est pas suffisamment humide, on l'arrose bien également, puis on y applique immédiatement des gazons, lesquels, à moins qu'il n'ait plu récemment, doivent toujours, avant leur application, être arrosés du côté de la terre. On les place avec précaution, bien jointifs, en les serrant fortement les uns contre les autres ; et quand ils sont un peu ressuyés, on les bat bien à deux reprises différentes, à vingt-quatre heures de distance.

Quand les gazons n'ont pas naturellement assez de consistance pour former un revêtement ferme et résistant par lui-même, et surtout lorsqu'on a à craindre qu'il ne survienne des débordements avant leur reprise, il faut les piqueter avec des petits piquets de menues branches de 15 à 20 centimètres de longueur et de 1 à 2 centimètres de diamètre, coupés en sifflet par le petit bout, en gardant autant que possible un nœud ou un petit crochet à la tête ; on les enfonce à fleur du gazon ; on en met deux par gazon en diagonale, c'est-à-dire vers deux angles opposés.

On peut se dispenser de gazonner le couronnement de la digue et se borner à le semer. Il est bon de placer sur son arête extérieure une haie continue en épines, parce que par ses racines elle consolide la digue et qu'elle donne un produit, et surtout à cause des garanties qu'elle procure dans le cas où des crues extraordinaires surpasseraient le couronnement de la digue. Non-seulement cette haie romprait la vitesse et l'action de la lame d'eau supérieure, et préviendrait par là les brèches, mais encore elle donnerait la faculté de former très-promptement un surhaussement au moyen de fascines feuillées ou de saucissons de paille que l'on appliquerait et que l'on attacherait avec des harts contre le pied de la haie, du côté des eaux.

En peu d'années, non-seulement la digue et toute la surface du fossé sont en produit, mais encore par cette disposition, et à raison de l'accroissement de développement qui résulte des plans inclinés, la surface productive est de $\frac{1}{5}$ environ plus grande que ne l'était la surface primitive du terrain occupé par ces ouvrages.

Quand on manque de gazons pour les revêtements des talus de la digue, on se borne à gazonner le talus extérieur, et on sème le talus intérieur et le fossé. On peut, pour ce second talus, employer un mode de gazonnement économique en échiquier, c'est-à-dire en se bornant à établir des bandes verticales et horizontales de 30 centimètres de largeur, qui se coupent d'équerre et qui laissent entre elles des intervalles de 50 centimètres en terre (*fig.* 13, *Pl. VII*).

Ils s'herbent promptement, et complètent alors le revêtement sans frais. Par ce procédé, $1^{m},20$ carré de gazon suffit pour gazonner 2 mètres carrés de talus.

Lorsque le courant d'eau dont on craint les irruptions, et que la digue est destinée à contenir, est fort et très-rapide, il convient d'ajouter des ouvrages défensifs aux parties contre lesquelles ce courant peut venir frapper avec le plus de force. Ces ouvrages consistent dans des épis en terre liante qui se rattachent au corps de la digue et qui descendent en pente douce sur la banquette de garde en lignes courbes, obliquant vers l'aval (l'établissement des barrages ayant été traité plus haut dans le *Cours de navigation intérieure*, nous ne reviendrons pas sur la manière de construire les épis), comme on les voit indiqués par les lettres SS dans la *fig.* 11. Leur courbure vers l'aval a pour but d'empêcher qu'elles soient offensives pour la rive opposée. Ces épis vont en diminuant de hauteur à mesure qu'ils descendent de la digue vers la banquette de garde gazonnée GG, avec laquelle leur extrémité doit se fondre insensiblement; on leur donne de chaque côté des talus très-doux, on arrondit le sommet rampant, et on gazonne le tout avec de bons et forts gazons bien battus.

Pour empêcher que les eaux pluviales des terrains situés en arrière des digues destinées à prévenir les inondations n'y restent stagnantes, il faut avoir soin d'établir dans la digue, vis-à-vis les parties les plus basses, des buses en planches épaisses de chêne, passées à l'huile chaude ou au bitume chaud sur toutes leurs faces, avant leur assemblage. On met à l'entrée de ces buses une petite vanne composée d'une seule planchette, qui descend dans une coulisse formée par des tasseaux cloués contre les planches verticales qui forment saillie. Pour que les eaux, lors des crues, ne s'infiltrent pas le long des parois de ces buses, on cloue sur leurs faces extérieures, de distance en distance, de forts tasseaux en bois, et en mettant la buse en place, on l'enveloppe de terre grasse bien battue. Ces buses peuvent aussi servir, au besoin, à introduire des eaux de la rivière sur les terrains situés derrière la digue, pour les arroser ou pour les limoner.

## CURAGE DES COURS D'EAU NON NAVIGABLES.

Le curage des cours d'eau non navigables négligé pendant longtemps a excité souvent des plaintes nombreuses. Le ministre de l'intérieur a invité plusieurs fois MM. les préfets à s'occuper d'un état de choses aussi fâcheux et qui exerce sur les prairies une action si nuisible.

Dans le nombre des cours d'eau, il en est qui ne débordent jamais; et dans d'autres les eaux s'étendent dans un rayon d'une certaine largeur.

Pour les cours d'eau qui ne débordent jamais ou qui ne dégradent que les parcelles riveraines sur une très-faible étendue, les eaux ne portent préjudice qu'aux riverains dans la proportion de la longueur de chaque propriété; mais on conçoit que lorsqu'elles s'étendent

dans un rayon d'une certaine largeur, il y a plus que les riverains qui doivent supporter les charges de l'entretien du cours d'eau, et qu'il est utile de rechercher exactement la superficie de chaque parcelle, afin de pouvoir diviser les charges de l'entretien suivant un ordre d'étude qui corresponde aux dommages causés presque chaque année. De plus, il est bon de remarquer que c'est vers leurs confluents que les ruisseaux débordent sur la plus grande largeur. Or les règlements d'administration des rivières doivent comprendre la réparation des affluents dans toute l'étendue de la zone submersible, et lorsque la partie inférieure d'un grand nombre de ruisseaux se trouvera réparée, l'écoulement sera plus rapide, et la partie supérieure se dégagera plus facilement, de sorte qu'avec peu de réparations les riverains seront délivrés des inondations.

Avant d'examiner les moyens que l'on pourra employer pour prévenir les inondations, il faut rechercher les causes de cette expansion subite des eaux dans les plaines après les pluies abondantes. Ces causes sont : 1° l'exhaussement du lit produit par les dépôts de sable ou terres entraînés par les eaux; 2° l'engorgement du lit par les éboulements des berges, les plantations d'arbres et la croissance des broussailles et buissons; 3° un système d'écoulement des eaux pluviales des terrains supérieurs mieux entendu; 4° le grand nombre d'usines établies sur les ruisseaux eux-mêmes, ou les barrages construits contrairement aux lois qui régissent la matière; 5° la diminution des pentes par mètre, produites par les sinuosités du lit, dont le développement atteint souvent un quart en sus de la longueur de la vallée.

L'abaissement du lit des ruisseaux n'est possible qu'autant que l'on fera une réparation d'ensemble sur tous les cours d'eau d'une section de terrain. Il faut d'abord régulariser le cours de la rivière qui reçoit des affluents, en régler le niveau et établir des repères fixes à chaque confluent.

Des éboulements nombreux engorgent le lit des rivières ; on peut en attribuer une partie aux plantations d'arbres que les propriétaires font sur les berges : le vent, en agitant la tige, fait soulever les racines, désunit les terres qui sont alors plus perméables et qui sont entraînées par leur propre poids à la moindre corrosion du pied de la berge. Une seconde cause est celle du défaut d'inclinaison du talus; d'après de nombreuses expériences, la stabilité de certaines natures de terres n'est acquise que lorsqu'elles sont réglées à une pente de 0m,66 par mètre, ce qui correspond à un angle de 33 à 34 degrés. Au lieu de cela, le lit des petites rivières présente le plus souvent un profil transversal irrégulier, dont les berges sont formées d'aspérités et de creux, ne formant pas en moyenne un angle de 70 degrés. Pour les garantir des débordements, les propriétaires amoncellent des terres sur les bords de leurs champs, et accélèrent par cela même la destruction de leurs défenses.

On aurait un avantage immense à changer la forme de la section transversale. En ne donnant qu'une faible largeur au plafond, on règlerait la ligne de thalweg pendant les basses eaux, et l'on ne verrait pas un lit sinueux dans un lit rectiligne. Dès que les eaux s'é-

lèvent, elles ne recouvrent pas également tout le fond du lit, et en coulant, suivant la direction de la plus grande profondeur, elles se jettent sur les berges qu'elles corrodent et détruisent. Il faudrait donc un lit resserré dans le fond, et des talus fortement inclinés.

Le redressement des sinuosités des cours d'eau amènerait, il est vrai, une diminution du quart environ de la longueur totale; mais comme on augmenterait les largeurs, on peut affirmer que par cette opération la contenance des terres cultivables ne sera point diminuée. Or, le redressement du lit aura l'avantage d'imprimer au courant une rapidité plus grande.

La réparation des cours d'eau intéresse une assez grande masse de population pour qu'elle puisse être classée dans les travaux d'utilité publique et d'intérêt général, car l'on conçoit que l'endiguement des cours d'eau doit profiter à tous les pays et les préserver des inondations.

## DRAINAGE.

Le drainage a pour but de saigner, d'égoutter, de dessécher un sol. L'opération du drainage consiste à placer à une certaine profondeur, dans un sous-sol, plusieurs files de petits tuyaux en terre cuite, qui lui enlèvent, ainsi qu'au sol, toute eau nuisible, pour la faire écouler au dehors. En effet, l'eau est quelquefois aussi nuisible qu'elle est utile dans d'autres circonstances. Ainsi l'eau qui humecte le terrain périodiquement sans y séjourner, et qui y apporte des principes fécondants, donne de la vigueur à la végétation, et purifie l'air environnant; celle, au contraire, qui reste immobile et stagnante, soit à découvert, soit même entre deux terres, ou celle qui mouille le sol d'une manière continue, est nuisible à la plupart des plantes, funeste à la santé des hommes et des animaux domestiques, car elle produit des décompositions qui développent diverses substances délétères, lesquelles troublent l'économie végétale en pourrissant les semences et les racines, en refroidissant le sol, en le rendant incultivable au printemps et à l'automne, et en le tassant de manière à le faire devenir dur, compacte et brûlant en été.

On sait depuis longtemps que les terrains mouillés, qui retiennent l'eau des pluies ou qui sont habituellement détrempés par des sources vagues, s'assainissent sans entraver le labourage, en y pratiquant des tranchées que l'on comble après avoir jeté au fond des pierres ou des fascines, dont les interstices laissent couler les eaux jusqu'au débouché qu'on leur a ménagé.

Mais les conduits souterrains ainsi formés sont ordinairement peu durables et sont parfois fort coûteux; on a reconnu qu'il était préférable, sous le rapport de l'économie et de la durée, de mettre des tuyaux au fond des tranchées que l'on peut alors faire très-étroites. Après avoir successivement essayé des tuyaux de 10, de 8, de 6 centimètres, et leur avoir donné d'abord un fond plat et une forme extérieure conique, afin de les emboîter les uns dans les autres, on a fini par reconnaître qu'il suffisait quelquefois de leur donner 3 ou 4 centimètres seulement de diamètre intérieur, avec une section cir-

culaire et une forme cylindrique en dehors comme en dedans. On les place bout à bout, en les embrassant deux à deux par des manchons aussi en terre cuite de 6 à 8 centimètres de longueur, qui les empêchent de dévier et qui cachent leurs jonctions.

Au moyen de machines assez ingénieuses, parmi lesquelles nous citerons particulièrement celle de M. Taylor, un homme et un enfant peuvent fabriquer par heure 1,000 à 2,000 tuyaux de drainage de $0^m$,35 de longueur, durs et presque secs, que l'on cuit ensuite avec peu de combustible. Cette machine ne coûte que 300 fr., elle saisit l'argile préparée d'avance et la pousse dans des moules de fonte sous une assez forte pression.

Ce sont ces tuyaux que l'on place dans des tranchées de $0^m$,25 de largeur en gueule, sur $0^m$,12 au fond, creusées économiquement au moyen d'outils particuliers. Ces tuyaux étant en place, on doit les couvrir avec la terre la plus argileuse du déblai et la damer fortement, afin d'empêcher l'eau de s'infiltrer par-dessus, ce qui entraînerait de la terre dans les tuyaux et les obstruerait. *L'eau doit venir du bas et par les côtés, en pénétrant par les manchons et par les jonctions des bouts de tuyaux.* L'expérience a prouvé que les petits intervalles entre les tuyaux suffisent à l'introduction de l'eau, et qu'elle n'est pas sensiblement augmentée par l'usage de tuyaux poreux, faciles du reste à obtenir, en mêlant de la poussière de charbon à leur pâte crue.

**Pente du fond des drains.** — On a reconnu qu'une pente de $0^m$,003 à $0^m$,005 par mètre était suffisante, ce qui assure la supériorité de l'emploi des tuyaux sur l'emploi des pierres ou des fascines, qui exige des pentes d'au moins $0^m$,01.

**Longueur des drains.** — On peut donner aux drains ou rigoles des longueurs allant jusqu'à 250 mètres, depuis leur origine jusqu'au point où elles débouchent, soit dans les fossés, soit dans des rigoles ou files plus larges, appelées *maîtresses rigoles* ou *drains principaux.*

**Profondeur des tranchées.** — L'expérience a démontré que les tranchées de drainage ont d'autant moins besoin d'être multipliées qu'elles sont plus profondes, et que leur espacement peut être augmenté dans un rapport généralement plus grand que celui des profondeurs. En effet, si l'eau imprégnant un terrain n'obéissait qu'à sa seule pesanteur, elle abaisserait naturellement sa nappe jusqu'au niveau des files de tuyaux placées dessous; mais l'action capillaire, combattant la gravité, donne finalement à cette nappe souterraine, à partir de chaque file de tuyaux, une certaine inclinaison ascendante qui dépend de la nature du terrain, c'est-à-dire de la grandeur de ses interstices, et du plus ou moins d'attraction que sa matière exerce sur le fluide. Supposons que ce terrain soit homogène, et que l'inclinaison des nappes soit de $\frac{1}{10}$ dans le sens perpendiculaire aux files de tuyaux rangées parallèlement. Supposons en outre que le succès de la culture exige que l'eau se tienne partout à $0^m$,50 au moins au-dessous de la superficie du sol, chaque file de tuyaux assainira de chaque côté une bande de terrain d'une largeur

égale à dix fois l'excès de sa profondeur sur cette hauteur de $0^m,50$; en sorte que l'espacement des files pourra être de vingt fois cet excès, ce qui fera un espacement de 5 mètres, si les tuyaux ne sont qu'à une profondeur de $0^m,75$ ; un espacement de 10 mètres, si la profondeur est 1 mètre; et un espacement de 20 mètres, si la profondeur est doublée ou portée à $1^m,50$.

En effet, soit H la profondeur du fond des tuyaux au-dessous de la superficie du sol;

$h$ la profondeur minimum à laquelle doit être tenue la nappe d'eau sous la même superficie, pour que l'eau ne nuise point aux plantes;

$k$ la petite hauteur à laquelle cette nappe se tiendra au-dessus du fond des tuyaux, en vertu de la capillarité du terrain;

I la pente que devront prendre sur l'horizon les parties de la nappe d'eau ne se trouvant pas directement au-dessus des tuyaux, en vertu de la même force capillaire, pour que cette force fasse équilibre à la pesanteur de l'eau, décomposée dans le sens tangentiel, où elle tend à descendre;

$i$ la pente de la superficie du terrain, supposée plane;

$j$ la pente moindre que $i$ qu'auront les tranchées ou les files de tuyaux, en les traçant plus ou moins obliquement aux lignes de pentes du terrain;

$l$ et $l'$ les distances entre une ligne de tuyaux et les deux droites, suivant lesquelles les deux plans de nappe d'eau, se coupant à une hauteur constante $k$ au-dessus de cette ligne, viendront couper le plan parallèle à la surface du terrain, et situé à une profondeur $h$ au-dessous; $l$ est relatif au plan d'eau dont la pente a le même sens que celle du terrain, et $l'$ est relatif au plan d'eau dont la pente a un sens contraire.

En sorte que $l+l'$ sera la largeur de la zone asséchée par un drain, ou l'espacement qu'on peut donner aux drains parallèles pour qu'ils assainissent tout le terrain jusqu'à une profondeur $h$ au minimum.

De ce théorème de géométrie élémentaire : que le carré de l'inverse de la perpendiculaire abaissée de l'angle droit d'un triangle rectangle sur son hypoténuse est égal à la somme des carrés des inverses des deux côtés adjacents, on déduit immédiatement que le carré de la pente d'un plan est égal à la somme des carrés des pentes de deux droites tracées sur ce plan dans une direction quelconque, mais dont les projections horizontales se coupent à angle droit.

Il en résulte que $\sqrt{i^2-j^2}$, $\sqrt{I^2-j^2}$ seront les pentes des lignes droites suivant lesquelles la surface du terrain et chaque plan de nappe d'eau seront coupés respectivement par tout plan vertical mené perpendiculairement aux projections horizontales des drains ou files de tuyaux, et que l'on a :

$$H-k-l\sqrt{I^2-j^2}=h-l\sqrt{i^2-j^2},$$
$$H-k-l'\sqrt{I^2-j^2}=h+l'\sqrt{i^2-j^2}.$$

Tirant de ces équations $l$ et $l'$, puis ajoutant et réduisant, on

trouve pour l'espacement cherché, ou la distance de 2 drains parallèles consécutifs :

$$l + l' = 2(H - h - k)\frac{\sqrt{I^2 - j^2}}{I^2 - j^2}.$$

Cette formule donne une distance infinie lorsque $i = I$, ou lorsque la pente de la superficie du terrain est égale à la pente que prennent naturellement les plans de nappe d'eau dans son intérieur. Il est bien évident, en effet, qu'alors le terrain n'a pas besoin de drainage, et que la nappe d'eau s'y tiendra partout à une profondeur égale à celle à laquelle on aura creusé un simple fossé d'évacuation au bas de la pièce, moins la quantité $k$. A plus forte raison en sera-t-il ainsi, si la pente $i$ du terrain excède la pente I des plans de nappe. Elle fait voir au reste : 1° que la distance qu'on peut mettre entre les drains consécutifs, soit qu'on les trace longitudinalement ou transversalement, est d'autant plus grande que la pente du terrain est plus forte ; 2° que pour mêmes grandeurs des pentes, la même distance $l + l'$ des drains croît comme l'excès de leur profondeur H sur la hauteur constante $h + k$, et par conséquent dans une proportion bien plus grande que la profondeur H, comme nous l'avons déjà dit ; 3° que l'on peut faire cette même distance $l + l'$ d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que $j$ est plus petit, ou que l'on donne une pente plus faible aux tuyaux que l'on suppose toujours avoir un diamètre suffisant à l'écoulement de toutes les eaux qui s'y rendent. Il convient donc, sous ce rapport, de donner à $j$ sa plus petite valeur, que nous avons dite de 0m,003 à 0m,005 par mètre, et de tracer par conséquent les drains le plus transversalement possible, plutôt que de les creuser dans le sens de la pente du terrain, cas auquel $j$ a sa valeur maximum égale à $i$, ou très-obliquement à ce sens. Au reste, comme $j^2$ peut, dans des limites étendues, être négligé devant $I^2$, le choix de la direction des drains est le plus souvent à peu près indifférent, dans un terrain homogène ne recevant d'eau que par les pluies.

La formule suppose que la pente de la superficie du terrain est d'au moins 0m,003 à 0m,005 par mètre ; si elle était moindre, H ne saurait être constant, et il faudrait en traçant les drains suivant cette pente, les creuser plus profondément au bas de la pièce qu'au haut.

Pour une profondeur minimum de l'assainissement, les files profondes assainissent une profondeur moyenne de terrain bien plus grande, et donnent écoulement à une quantité d'eau plus considérable, après une pluie, que les files peu profondes. L'expérience a prouvé même que l'eau apparaissait plutôt à l'issue des files les plus profondes, bien que les autres dussent nécessairement recueillir plus vite les premières gouttes.

De plus, on a observé que les tuyaux placés trop peu profondément sont sujets à être obstrués par les racines des plantes qui, après y avoir pénétré par les petits joints, développent à l'intérieur un chevelu volumineux. Aussi les tuyaux placés bas ont prévalu. On les pose généralement à 0m,90, à 1 mètre, à 1m,20 et à 1m,30 de profondeur. M. Parkes conseille même de les enfoncer jusqu'à 1m,52 et

1m,67. Mais l'avantage de l'approfondissement doit avoir une limite. Sans doute, certains terrains de sable mêlé d'argile peuvent offrir à peu près l'égalité de nature et de capillarité qui a été supposée en dressant la formule que nous avons donnée plus haut; mais c'est là une exception. A mesure que l'on descend, la compacité augmente et la perméabilité diminue, en sorte que la pente de la nappe d'eau en équilibre désignée par I devient de plus en plus grande, au point que sa valeur, ainsi que celle de la hauteur $k$, où la nappe peut se tenir au-dessus du tuyau, devient comme infinie pour les couches sensiblement imperméables, placées assez profondément pour n'avoir pas la chance de se cribler de pores et de fissures. Des tuyaux de drainage placés sous de pareilles courbes ne seraient évidemment d'aucun effet.

On peut donc adopter une profondeur de 0m,90 à 1m,20, si ce n'est dans quelques circonstances particulières; par exemple, quand on passe sous une saillie accidentelle de terrain, ou quand on veut couper une couche aquifère.

**Distance des tranchées disposées parallèlement.** — Avec cette profondeur, on peut espacer les drains de 10, 12, 15 et jusqu'à 20 mètres. Des agronomes distingués pensent qu'on peut adopter le plus ordinairement cette dernière distance avec des drains de 1m,20 à 1m,30 de profondeur; mais en consultant divers auteurs, on est porté à ne point aller au delà de 15 mètres, surtout lorsqu'il se joint des eaux de source aux eaux pluviales.

**Tracé et disposition mutuelle des tranchées de drainage.** — Les ingénieurs n'ont pas tous une même manière de disposer leurs draines. Quelques-uns les dirigent parallèlement entre eux dans le sens de l'inclinaison du sol; d'autres aussi parallèlement, mais dans un sens transversal, presque perpendiculaire à cette inclinaison, en les faisant aboutir à angle presque droit sur un *drain principal*, qui porte vers le bas, au moyen de tuyaux de 6 centimètres, toute l'eau que fournissent ensemble les tuyaux de 3 ou 4 centimètres des drains ordinaires; d'autres tracent le drain principal diagonalement, ou à 45 degrés environ sur la ligne de plus grande pente, et y font arriver les drains ordinaires aussi à 45 degrés; d'autres, enfin, creusent un certain nombre de drains dans le sens de la plus grande pente, et y font aboutir des drains d'une faible longueur.

Le choix entre ces diverses dispositions, dans les cas où elles sont toutes possibles et où il n'y a que des eaux pluviales à écouler, n'a probablement qu'une faible influence sur les résultats; mais ce choix sera ordinairement restreint, et la condition d'avoir des drains d'une profondeur et d'un espacement donnés sous une pente de 0m,003 à 0m,005 déterminera très-souvent leur tracé.

D'ailleurs la forme des terrains est généralement courbe et plus ou moins ondulée. Elle offre des baissières ou thalwegs, séparées par des saillies continues ou faîtes : il convient de courber toujours les drains pour les assortir à cette forme. Si on les traçait tous suivant les lignes de plus grande pente, ils seraient trop rapprochés dans le bas et trop écartés dans le haut, ou réciproquement. Il est

donc plus convenable de placer des drains principaux dans les baissières, et d'y faire aboutir les drains ordinaires tracés en pente de $0^m,003$ à $0^m,005$. Cette disposition transversale du plus grand nombre des drains, outre qu'elle est, comme nous avons vu plus haut, la plus favorable à l'économie dans le cas abstrait du terrain homogène, ne recevant d'eau que des pluies, est aussi plus favorable à l'absorption intégrale des eaux venant du dessous; car elle offre généralement plus de chances pour que chaque source, dont l'eau aboutissait et s'éparpillait sur une certaine étendue de la superficie, passe auprès d'un tuyau qui l'absorbera et fera cesser ses effets fâcheux.

Au reste, une foule de circonstances et de difficultés locales, qui ne sont que trop variées, viendront encore augmenter l'indétermination. Lorsque des sondages auront fait suffisamment connaître le relief du sous-sol, la direction des couches tant imperméables que poreuses et aquifères, et, par suite, les points principaux d'où surgit et peut surgir l'eau souterraine qui mouille le sol en s'y extravasant, c'est de ces points surtout qu'il faudra faire partir les tuyaux, et la meilleure disposition à donner à leurs files cessera d'offrir l'embarras du choix. On a aussi quelquefois placé avec succès des drains sous les sillons séparant de larges billons de culture.

**Débouché des tuyaux.** — Le débouché des tuyaux doit s'opérer dans des fossés dont le fond soit à 1 ou 2 décimètres plus bas que les extrémités de ces tuyaux, et qui porteront les eaux dans les ravins, ruisseaux ou rivières, à un niveau plus bas bien entendu. Divers travaux analogues à ceux qu'exige le desséchement des marais seront quelquefois à faire pour obtenir cette possibilité.

**Durée du drainage.** — Des rigoles souterraines en tuiles courbes, qui avaient été faites comme essai, il y a plus de soixante-dix ans, en Écosse, ont été découvertes et trouvées dans un état parfait de conservation. On cite d'autres exemples datant de cinquante à soixante ans. Les travaux de drainage bien faits peuvent donc être considérés comme d'une très-longue durée. On ne doit pas trop craindre l'obstruction des tuyaux par les eaux ferrugineuses ou ocreuses; car, vu le défaut d'évaporation et la faible quantité d'air dans les tuyaux étroits, il s'y fait peu ou point de dépôts, excepté à leurs issues, que l'on peut facilement nettoyer.

**Effets et avantages du drainage.** — Le drainage permet à la chaleur solaire ou atmosphérique d'élever la température du sol et d'y développer la végétation au printemps, au lieu de se consommer en un long et stérile travail d'évaporation, pendant lequel la température monte à peine. Aussi, par le moyen du drainage, les terres appelées *froides* et qui doivent cette qualification à leur humidité habituelle, deviennent semblables à ces bons sols secs et chauds recherchés des cultivateurs. Par suite, le drainage élève le *climat*, et sans accroître aucunement les chaleurs estivales, il rend les récoltes plus hâtives de dix à quinze jours en même temps que plus belles et surtout plus assurées.

Chose remarquable, le drainage diminue ou annule en même temps les effets si fâcheux des hâles et des sécheresses de l'été, qui

rendent, en général, le terrain d'autant plus contracté, plus dur et plus brûlé, qu'il a été plus détrempé et plus tassé par l'eau pendant l'hiver. Par son moyen, le terrain devient plus doux, plus friable, infiniment moins aggloméré en mottes persistantes et stériles, plus accessible à l'air et à la rosée; il ne se crevasse plus. L'eau bienfaisante des pluies estivales, qui glisse en grande partie sur les terrains compactes non drainés ou qui s'évapore avant de s'y enfoncer, pénètre les terrains drainés; en sorte que le drainage rend réellement le terrain plus humide dans la saison trop sèche, et plus sec dans la saison trop humide.

Le drainage permet de réduire les attelages et diminue considérablement les frais de la culture, qui est, comme l'on sait, extrêmement difficile sur un terrain durci, ainsi que sur un terrain à l'état boueux et pâteux; il rend le labour possible et utile dans des circonstances atmosphériques où, sans son secours, ce labour ne se ferait pas ou se ferait en pure perte. Il évite aussi que le cultivateur ne soit forcé, par les pluies, d'ajourner au printemps, comme il n'arrive que trop souvent, des semailles qu'il se proposait de faire en automne, ou de retarder de plusieurs semaines les semailles de printemps, au grand détriment de leurs produits et avec danger de perte totale. Il permet que les façons s'opèrent sans interruption et sans attendre que l'évaporisation dissipe l'eau tombée. Les champs drainés supportent la charrue même dans tout le courant de l'hiver. En soustrayant l'excès d'humidité avant les gelées, il empêche que celles-ci ne nuisent aux semences et aux racines et ne soulèvent les tiges hors de terre. Il amène ainsi en hiver cet état sec et pulvérulent que les cultivateurs désirent pour la conservation de leurs récoltes. En faisant cesser la stagnation patente ou souterraine des eaux pendant les premières chaleurs, il enlève une entrave au développement de la circulation et de la nutrition végétales, et il prévient cette fermentation qui pourrit les racines et qui engendre des substances non nutritives, ordinairement acides, reconnues être de véritables poisons pour les plantes. Il nettoie les terrains de celles de ces substances qui s'y accumulent, surtout dans les sous-sols siliceux. Il rend productifs les nombreux terrains que des eaux ferrugineuses ou pétrifiantes, surgissant des couches inférieures, stérilisent complétement, et que la pente fréquemment prononcée de ces terrains ne suffit pas à évacuer.

En abaissant le niveau de la nappe d'eau du sous-sol, il permet la culture de plantes que le sol se refusait auparavant à produire, de la luzerne, par exemple, dont l'introduction dans un domaine suffit pour en changer la face; et il fait prospérer davantage des végétaux qui réussissaient médiocrement avant qu'on l'opérât, le froment, par exemple, auquel une épaisseur de $0^m,50$ de sol sec peut suffire à la rigueur, mais qui envoie des racines jusqu'à $1^m,20$ et $1^m,50$ quand le sous-sol le permet; et en même temps il permet de tenir avec moins de dépense le terrain net de mauvaises herbes.

Le drainage permet encore partout le labour à plat ou en très-larges planches, et la suppression de ces billons hauts et étroits dont on fait généralement usage dans les terrains peu perméables, ne

laissant guère à la végétation que leurs sommets, parce que les intervalles sont affectés à l'écoulement superficiel des eaux pluviales, qui ravinent trop souvent les sillons, et qui enlèvent au sol la quintessence de ses engrais et de son humus. Il équivaut à un approfondissement du sol productif, car la circulation continuelle de l'eau de haut en bas, aidée de l'action des vers de terre, y ouvre des pores nombreux où les racines peuvent pénétrer, et où elles trouvent les substances fécondantes que l'eau y a déposées en passant, substances qui, avant le drainage, étaient emportées hors du champ.

Il produit même, et à une profondeur très-grande, une circulation d'air qui a presque tous les effets de la jachère et des façons multipliées. L'air, qui ne pénétrait jamais dans le terrain non drainé, entre maintenant à la suite de l'eau qui descend, et porte dans le sous-sol le carbonate d'ammoniaque et les autres engrais dont l'atmosphère offre le magasin le plus vaste et au meilleur marché. Aussi, dit M. Johnston, le drainage diminue la nécessité des jachères pures, et permet de les supprimer plus facilement et plus profitablement.

Il donne toute leur efficacité à certains amendements, comme les os, les cendres, la chaux même, qui restent sans effets dans les terrains humides. Le fumier lui-même profite davantage dans les terrains drainés et peut y être employé avec bien moins d'abondance : l'économie qui en résulte est, dit-on, considérable.

Le drainage, ou un travail analogue, peut seul assurer le succès de certains desséchements de marais, qui échouent malgré de grands travaux d'abaissement et de détournement des eaux apparentes.

En effet, le mal qui persiste vient de nombreuses fausses sources dont le sol marécageux est criblé, et dont un drainage soigné fera cesser l'épanouissement indéterminé et les effets fâcheux. Il rend l'irrigation plus efficace; car on sait qu'une condition essentielle à ses bons effets est l'absence de toute stagnation, l'évacuation prompte de toute eau excédante, et même le mouvement de circulation continuel de l'eau employée. Or le drainage assure tout cela aux terrains irrigués. On peut même dire, sans paradoxe, que le drainage n'est, en partie, qu'une irrigation à l'eau pluviale, provoquée par un appel inférieur, et pénétrant jusque dans le sous-sol que cette eau enrichit.

Le drainage s'alliera très-bien avec ces fossés de dérivation dont le rôle est de diriger utilement les eaux pluviales, en les empêchant de raviner les pentes et de se précipiter par torrents dans les vallées. Les fossés apporteront l'eau, les drains l'évacueront lentement après qu'elle aura produit son effet ; et rien n'empêchera de la recueillir, à sa sortie, dans d'autres fossés ou réservoirs, où son contact plus ou moins prolongé avec l'air la dépouillera des substances nuisibles, et lui restituera des principes fertilisants qui la rendront propre à l'irrigation des terrains inférieurs.

Enfin quelques fermiers de l'Ecosse se servent des tuyaux de drainage pour produire une sous-irrigation profitable, en amenant directement des eaux étrangères dans les tuyaux, dont on bouche momentanément les issues. Mais il est nécessaire que l'eau, que

l'on y introduit ordinairement par des regards, soit parfaitement claire.

Il est inutile d'ajouter qu'en faisant pénétrer dans la terre une plus grande quantité d'eau de pluie qui n'en sort intégralement qu'un certain nombre de jours après être tombée, le drainage contribue, comme les fossés dont on vient de parler, à diminuer les inondations et à régulariser le débit des ruisseaux. Il augmente aussi le volume habituel de ceux-ci, en donnant un cours à des eaux de source qui ne faisaient que s'évaporer à mesure qu'elles arrivaient, à l'état de suintement, à la superficie du sol mouillé par larges places.

Un des avantages sans contredit les plus précieux du drainage est l'assainissement de l'air. On voit des contrées entières où il n'apparaît ni marais, ni étangs, et où l'air est cependant très-insalubre, parce que l'eau séjourne dans le sous-sol, à une petite distance de la surface, en formant ce que M. Puvis appelle des *marais souterrains :* tels sont, par exemple, la Sologne, la Bresse, la Brenne et la plaine du Forez, etc. Le drainage est propre à faire cesser un pareil mal. On a remarqué que dans le district de Kelso en Ecosse, depuis l'exécution de travaux d'égouttage, la fièvre et l'hydropisie, qui formaient près de la moitié des maladies, ont presque entièrement disparu. Ces travaux diminuent aussi la mortalité du bétail et l'incommodité des mouches qui le harcèlent.

D'après cela, et en faisant même la part de l'exagération, on ne doit point s'étonner si, dans beaucoup de terrains, on a obtenu des récoltes doubles et triples de ce qu'elles étaient avant le drainage; si la qualité même du grain, de la paille, des plantes-racines et des fourrages a été trouvée bien meilleure après cette opération ; si un grand nombre de fermiers anglais ont drainé sans recourir aux propriétaires; si les produits leur ont remboursé les dépenses en trois années, quelquefois en une seule; si un illustre agronome anglais a hautement avancé que nulle spéculation, même commerciale, n'est aussi productive; enfin si les soixante-quinze millions votés par le Parlement en faveur des cultivateurs qui feraient au gouvernement des emprunts pour travaux de drainage, amortissables à raison de 6 1/2 pour 100 payés pendant vingt ans, ont été distribués en peu de jours, au grand avantage du pays et au grand regret de ceux qui ne se sont pas présentés assez tôt pour avoir part à ce prêt.

**Terrains à drainer.—Conclusion.**—Néanmoins, il faut se garder de l'engouement et de l'exagération qui ont conduit nos voisins à une généralisation irrationnelle de ce procédé. Le drainage n'est, au total, très-avantageux que dans des localités particulières. Sans doute il est applicable aux sables comme aux argiles; car souvent les sables siliceux légèrement terreux forment un sous-sol plus imperméable à la pluie que les sous-sols argileux, et les sources sont plus sujettes à y divaguer et à humecter de grandes superficies que dans les terrains *compactes*. Mais il suffira souvent, surtout lorsque le terrain aura une certaine pente et peu de sources, de quelques travaux fort peu coûteux, tels qu'une rigole de ceinture ou bien un simple fossé creusé dans un sens transversal à la pente, vers le haut du terrain, et un autre vers le milieu, ou au bas, pour faire cesser la

stagnation des eaux provenant de la pluie ainsi que l'éparpillement des eaux de source, et pour attirer, jusqu'à un certain point, une circulation d'eau et d'air sans recourir au travail dispendieux du drainage. Il faut donc, en pareille matière comme en toute autre, agir avec sagesse et discernement, et opérer souvent par essai préalable.

Mais si les premières tentatives donnent la conviction que le terrain auquel on a affaire est de ceux qui demandent, pour être convenablement et profondément assainis et aérés, les travaux dont nous avons essayé d'exposer dans cette note la nature et les avantages, on ne doit plus hésiter à l'en faire profiter et à faire une dépense qui sera, en définitive, une économie bien entendue, et une source permanente de richesse et de prospérité pour les individus comme pour le pays.

## DU COLMATAGE.

Il nous reste à parler du colmatage, qui est à la fois le plus simple, le plus puissant et le plus économique des procédés de desséchement, surtout pour les bas-fonds marécageux; mais on ne trouve pas partout les ressources nécessaires à cet effet : c'est pourquoi la pratique du colmatage a été jusqu'à présent réservée à un petit nombre de localités, qui en ont retiré un très-grand profit.

Le colmatage n'est qu'un remblai effectué successivement par voie d'atterrissements artificiels; et là où l'on peut trouver un volume d'eau trouble assez abondant, on obtient des résultats qui dépassent généralement ce que l'on avait pu attendre.

Le colmatage des marais et des bas-fonds marécageux peut mettre à profit des eaux torrentielles charriant même des cailloux et des galets, si l'on a des profondeurs considérables à combler. Il est même dans l'ordre des choses, pour le meilleur résultat à en attendre, que l'on commence à remplir les parties les plus profondes avec des matériaux grossiers et perméables, afin d'imiter autant que possible la marche suivie par la nature dans la formation des alluvions, qui sont les meilleurs terrains agricoles. Si l'on n'a pas à sa disposition des eaux torrentielles dont on puisse tirer des dépôts de cette nature, on se contente d'employer celles qui ne déposent que des terres ou sables, et les terrains formés, sur une grande hauteur de ces derniers éléments sont toujours d'une haute valeur, et sont propres à toute sorte de culture.

Les procédés de colmatage consistent à ouvrir, sur la rive d'un cours d'eau à fortes pentes et sujet à de grandes crues, des espèces de coupures nommées *épanchoirs*, au moyen desquelles des volumes d'eau, que l'on règle approximativement, se dirigent par des canaux ou rigoles spéciaux sur les bas-fonds à exhausser. Les eaux retenues et devenues stagnantes dans les bas-fonds y déposent les sédiments qu'elles tiennent en suspension, et quelque temps après leur introduction, on les fait écouler avec précaution, partiellement ou totalement dépouillées, pour en introduire de nouvelles. Plus les eaux sont chargées de matières terreuses ou sableuses et sont plus souvent renouvelées, plus les résultats sont rapidement obtenus. Le

mécanisme de l'opération est donc très-simple; il consiste dans la seule introduction des eaux troubles, à l'aide de canaux d'amenée d'une pente autant que possible égale à celle des cours d'eau alimentaires, puis dans un système de déversement lent et superficiel, qui enlève les eaux le plus dépouillées qu'on le peut par la sédimentation. Ce dernier écoulement s'opère généralement à l'aide de déversoirs en bois grossièrement construits, dont on peut abaisser successivement le niveau.

Les ouvrages les plus convenables à employer dans ce cas sont des barrages à poutrelles, qui remplissent suffisamment leur objet. Une grande étendue des étangs, bas-fonds ou terrains salés qui avoisinent la Méditerranée dans les départements de l'Aude, de l'Hérault et des Bouches-du-Rhône, ont été colmatés de cette manière et sont aujourd'hui des fonds de première qualité. Avec des eaux très-riches en matières limoneuses comme celles dont on dispose dans ces contrées, on peut obtenir aisément une moyenne de $0^m,15$ à $0^m,20$ de dépôts, et alors on conçoit que ce genre d'opération marche très-rapidement et puisse donner de très-grands bénéfices.

## DES IRRIGATIONS.

Les engrais sont la source immédiate de la fertilité du sol, et, par suite, de toutes nos richesses agricoles. Mais, pour se procurer des engrais en quantité suffisante, il faut avoir des bestiaux; pour nourrir des bestiaux, il faut nécessairement des prairies; et celles-ci ne peuvent, en général, prospérer qu'autant qu'elles sont arrosées. On est donc conduit par une logique rigoureuse à considérer l'irrigation comme la base de l'agriculture, partout où le sol n'est pas naturellement assez humide pour donner une récolte abondante de plantes fourragères. Dans le nord de l'Europe, en Allemagne, en Prusse, les prairies naturelles et artificielles forment à peu près le tiers du sol cultivé. En Angleterre, où le perfectionnement de l'agriculture a atteint ses dernières limites, les prairies égalent en étendue les terres arables. En France, elles n'en sont pas la cinquième partie. Cette disproportion frappante entre la culture des plantes fourragères et celle des autres végétaux utiles, notamment des céréales, est la vraie cause de notre infériorité agricole. Nous pourrions produire autant et plus de blé, en mettant en prairies une partie notable de nos terres arables, et en fumant le reste avec l'engrais des troupeaux qu'il serait possible d'élever. Ces derniers seraient un bénéfice net, dont la valeur s'ajouterait intégralement à celle des produits actuellement obtenus. Les agronomes les plus distingués ont pensé que le meilleur et même l'unique moyen de réaliser cette amélioration capitale était de propager autant que possible la pratique de l'arrosage en France.

L'Administration a vivement senti toute l'importance de cette question, et aujourd'hui le gouvernement de l'Empereur s'en occupe avec la plus grande sollicitude.

Pour que les propriétaires se réunissent et mettent à profit ces éléments de prospérité agricole; pour que l'Administration, usant

de tous ses moyens d'influence et d'action, puisse les pousser elle-même dans cette voie, de simples inductions ne sont pas suffisantes. Il faut des renseignements précis sur la possibilité des canaux à établir, sur leur tracé, enfin sur les avantages et les dépenses de leur construction. Un travail préparatoire, qu'il conviendrait d'étendre à tous les départements, est donc indispensable.

Pour que ce travail fût complet et méthodique, il devrait être divisé en trois parties : la première serait consacrée à une description physique et spécialement hydrographique de chaque département. On ferait connaître les divers bassins qui divisent naturellement son territoire; et chacun d'eux serait décrit sous les rapports de la nature minéralogique du sol, de sa configuration topographique, de la météorologie et de l'agriculture, rapports qui ont entre eux la liaison la plus intime. On présenterait un tableau complet et succinct de l'ensemble des cours d'eau et des principales circonstances de leur régime; ce qui conduirait à les diviser en deux grandes classes comprenant : 1° ceux qui sont susceptibles d'être utilisés pour l'industrie et l'agriculture; 2° ceux qui n'en sont pas susceptibles.

La deuxième partie renfermerait la description particulière et détaillée de chacun des cours d'eau reconnus susceptibles d'être utilisés. On indiquerait les sources qui les alimentent, la longueur de leur cours, leur pente, leur régime, les propriétés physiques et la composition chimique de leurs eaux, leurs volumes à différentes époques de l'année, ainsi que leur usage actuel, agricole ou industriel. Puis, dans un article à part, on examinerait spécialement le parti qu'il serait possible de tirer de ces eaux pour l'irrigation. On ferait reconnaître les points les plus convenables pour les prises d'eau, la direction à donner aux canaux, leur section et leur pente, la nature et l'étendue des terres susceptibles d'être arrosées; enfin on discuterait dans chaque cas les avantages et les dépenses de l'entreprise. Ces dernières indications étant les plus importantes, seraient surtout traitées avec détail de manière à tenir lieu d'avant-projets.

Des nivellements seraient exécutés pour fixer la direction des canaux reconnus avantageux, et le tracé de ceux-ci serait marqué sur les plans du cadastre. La réunion de ces plans formerait un atlas auquel les descriptions renverraient, et qui serait déposé à chaque préfecture pour être mis à la disposition du public.

La troisième partie serait un résumé des précédentes; elle offrirait un tableau récapitulatif des canaux dont la création aurait été proposée, et serait terminée par une table alphabétique tant des communes que des cours d'eau cités.

## CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES IRRIGATIONS.

L'article 644 du Code civil établit que les particuliers dont la propriété borde une eau courante ne dépendant pas du domaine public peuvent s'en servir à son passage pour l'irrigation de leurs propriétés; le même article ajoute que celui dont la propriété est tra-

versée par une eau courante peut même en user dans l'intervalle qu'elle y parcourt, mais à la charge de la rendre, à la sortie de son fonds, à son cours ordinaire. On pourrait s'étonner, d'après cela, de voir qu'il n'existe qu'un petit nombre de propriétaires riverains qui profitent du bénéfice de la loi. Cependant, les avantages produits par les irrigations sont connus de tout le monde; il faut donc qu'il existe à ce mode d'user des eaux de notables empêchements. Sans doute la manière la plus simple de profiter des avantages de l'irrigation serait que chaque riverain pût user de l'eau à son passage, comme le prévoit le Code civil. Cela se fait effectivement ainsi dans certaines localités où les cours d'eau naturels se trouvent dans des conditions convenables pour cet usage, et là surtout où les dérivations peuvent avoir lieu sans barrage. Des règlements administratifs interviennent alors pour déterminer le mode de jouissance des divers usagers, arrosants ou usiniers.

Mais les applications sur une grande échelle de ce mode d'irrigation, par prises d'eau directes faites sur les rivières et ruisseaux, sont néanmoins assez rares; il est facile d'en comprendre la cause.

Les cours d'eau naturels coulent généralement dans la pente la plus déprimée, c'est-à-dire dans le thalweg des vallées. Dans cette situation, ils se prêtent déjà très-difficilement à fournir avantageusement de petites dérivations partielles, avec le secours de barrages peu élevés. En effet, la nécessité d'effectuer sur la propriété même la prise, l'emploi et la restitution des eaux, restreint considérablement le bénéfice de l'arrosage, attendu qu'il ne peut profiter qu'à une certaine portion de cette propriété, portion d'autant plus faible, que le cours d'eau sera plus encaissé et les pentes transversales plus prononcées.

Le propriétaire d'une parcelle qui n'a qu'une petite longueur sur une seule rive, quelle que soit d'ailleurs l'étendue de son terrain dans le sens perpendiculaire au cours d'eau, n'en pourra irriguer, par dérivation directe, qu'une portion tout à fait insignifiante, trop faible probablement pour motiver les frais de construction et d'entretien d'un barrage; ou bien il devra recourir à l'emploi, beaucoup plus dispendieux, des machines élévatoires. Nous ne parlons pas de la difficulté très-grande qu'il y aura pour ce même propriétaire d'une seule rive, d'obtenir du propriétaire de la rive opposée la permission d'appuyer son barrage sur un sol qui ne lui appartient pas. Malgré les dispositions d'une loi plus récente, qui a eu pour but de lever autant que possible cet empêchement, la difficulté reste presque la même, attendu que les frais d'un procès civil à soutenir pour le règlement de l'*indemnité préalable* emporteraient dans bien des cas au delà des bénéfices à attendre de l'arrosage. Mais supposons encore toutes ces difficultés vaincues, et que la majeure partie des riverains soient en position d'établir chacun un barrage au droit de soi; l'obligation légale de restituer, à la sortie de chaque propriété, les eaux non employées, fera toujours que l'on n'obtiendra ainsi que de très-courtes dérivations, qui dans leur ensemble ne produiront qu'une zone arrosée fort étroite, où la plus-value sera moins grande que partout ailleurs, attendu que ces terres, situées dans le

voisinage même de l'eau, jouissent toujours d'une certaine fraîcheur et bien souvent même souffrent beaucoup d'un excès habituel d'humidité.

A moins d'une constitution exceptionnelle de la propriété riveraine, aujourd'hui si morcelée, on ne peut donc espérer d'effectuer sur une grande échelle des arrosages obtenus ainsi à l'aide de saignées partielles et d'un grand nombre de petites prises d'eau directes.

L'excessive division de la propriété foncière en France, et surtout de la propriété riveraine, est, au surplus, un obstacle matériel et invincible à ce que les irrigations de cette espèce puissent se multiplier généralement. Mais une cause qui tend à restreindre bien plus encore l'extension de ce genre d'arrosage, ce sont les oppositions soulevées par les anciens usagers, dont les nouveaux tendraient à confisquer la jouissance. Sur presque tous les cours d'eau, il s'est établi anciennement des usines qui sont souvent très-importantes. Or leur intérêt se trouve en opposition directe avec celui des dérivations ayant pour but l'arrosage. Sans doute l'autorité administrative est appelée, dans ce cas, à prendre des mesures réglementaires qui soient de nature à concilier autant que possible ces divers intérêts; mais cela est fort difficile, et en supposant des usages fractionnés et minimes comme ceux qui nous occupent, l'administration publique ne pourrait bientôt plus suffire à une tâche aussi épineuse, et elle serait d'ailleurs détournée d'intervenir dans les entreprises d'intérêt général qui forment sa véritable attribution.

L'expérience prouve tous les jours que l'extension des jouissances de l'eau, ainsi entendues, est excessivement difficile à obtenir; et, en définitive, les tribunaux opèrent sagement en accordant aux possessions anciennes, existant sans dommage pour personne, une sanction qui est de nature à limiter les prétentions nouvelles.

Tels sont les principaux motifs pour lesquels l'irrigation, envisagée à son véritable point de vue, doit être considérée comme sortant des limites ordinaires des opérations individuelles; comme devant, dès lors, être généralement effectuée soit par des associations de propriétaires, soit par des concessionnaires qui sont autorisés à distribuer, moyennant des redevances déterminées, les eaux au fur et à mesure qu'on les demande pour les besoins de l'agriculture. En effet, au lieu de quinze ou vingt arrosants parcellaires, avec chacun son barrage, obligés de rendre leurs eaux aux limites inférieures de leurs propriétés, et ne desservant dès lors qu'une étroite lisière de terrain, si nous concevons une seule prise et un seul canal pouvant se prolonger sans interruption sur une assez grande longueur, comme la pente de cette dérivation sera toujours plus faible que la pente du cours d'eau alimentaire, à mesure que sa direction se prolongera et s'éloignera de l'axe de la rivière ou du ruisseau alimentaire, elle pourra irriguer un périmètre de plus en plus étendu. C'est ainsi que l'arrosage se trouve procuré aux terres riveraines dans les meilleures conditions possibles.

D'après ces considérations, on doit comprendre que l'arrosage ne peut s'effectuer avantageusement sur une grande échelle que lors-

qu'il a lieu au moyen d'un *canal principal* n'exigeant qu'une seule prise d'eau, et disposé de manière qu'avec un petit nombre d'embranchements, canaux secondaires ou rigoles principales, chaque intéressé puisse obtenir immédiatement la quantité d'eau qu'il a intention d'employer sur son terrain.

Les principales conditions de la bonne exécution des canaux d'arrosage sont les suivantes :

1°. Que leur tracé soit établi de manière à desservir directement, par le canal principal ou des embranchements, la majeure partie du périmètre arrosable ;

2°. Qu'avant tout on se soit assuré, soit par l'existence de moyens d'écoulement naturels, soit par le tracé préalable de canaux spéciaux, de la certitude d'un complet égouttement ou assainissement des terrains à arroser ;

3°. Que les vitesses de l'eau soient, autant que possible, proportionnées à la résistance naturelle du sol, de manière à réduire au minimum le développement des revêtements, toujours dispendieux, qui sont destinés à prévenir les corrosions ;

4°. Que les pentes et les sections correspondantes soient partout calculées de manière à assurer régulièrement le débit du volume d'eau décroissant qui sert aux arrosages ;

5°. Que les ouvrages d'art, réduits au strict nécessaire, remplissent ces trois conditions essentielles : simplicité, solidité, économie ;

6°. Que les ouvrages régulateurs, tels que déversoirs, vannes de décharge, etc., aient été dès l'origine établis en nombre suffisant pour éviter toute chance d'accidents ;

7°. Enfin, que la distribution des eaux puisse toujours être faite en quantités données et à l'aide de régulateurs du système le plus perfectionné.

**Canaux principaux.** — Le canal principal a sa prise d'eau établie directement sur la rive du cours d'eau alimentaire, au moyen d'un système d'ouvrages d'art dont nous parlerons plus loin. Il présente ordinairement deux parties distinctes, dont l'une est comprise entre la prise d'eau et les terrains dont le niveau se trouve assez bas pour qu'ils puissent prendre part à l'arrosage ; la seconde, qui commence aux premières bouches de distribution, comprend tout le reste du canal, avec les ramifications qu'il peut avoir. La première partie, celle où il n'existe pas de bouches, n'a que la destination d'un canal d'amenée ; c'est un canal à eau courante, placé dans les conditions ordinaires. La seconde partie, celle où ces bouches existent en plus ou moins grande quantité, est le canal d'arrosage proprement dit. Il a pour caractère distinctif des largeurs qui décroissent au fur et à mesure que la partie d'eau diminue par la consommation qui s'en fait au profit des canaux secondaires.

Dans les dérivations importantes, le canal d'amenée a quelquefois une longueur considérable ; c'est en effet le seul moyen que l'on ait de conduire les eaux sur le sol à arroser avec une pente suffisante, tout en plaçant le seuil de l'embouchure assez bas pour que le canal reçoive encore un volume d'eau suffisant en temps d'étiage, si le cours d'eau où il s'alimente y est sujet.

Le tracé des canaux d'irrigation doit différer essentiellement de celui des canaux de navigation. En effet, étant destinés à fournir des dérivations faciles et exécutées sans barrage, il faut que leur plan d'eau règne constamment à une certaine hauteur au-dessus des points les plus élevés du périmètre arrosable; tandis que les canaux de navigation s'établissent autant que possible dans le fond des vallées, afin d'éviter les pertes d'eau, les dégradations ou ruptures de digues.

Le principe des canaux d'irrigation étant fondé sur le rachat des pentes naturelles, ils se trouvent bientôt éloignés du cours d'eau qui les alimente. En pays de montagnes, ils sont toujours à mi-côte sur le flanc des vallons; en pays de plaine, ils se placent nécessairement sur les principales ondulations de terrains, ce qui permet, sans trop de terrassements, d'établir le plan d'eau à une hauteur convenable au-dessus des terrains environnants.

**Canaux secondaires.** — Les canaux secondaires sont, relativement au canal principal, ce qu'il est lui-même relativement à la rivière dont il dérive, à l'exception des prises d'eau, qui deviennent de simples bouches sans barrage, mais ordinairement pourvues d'un module régulateur. Ces canaux doivent être maintenus sur la partie la plus haute des terrains à arroser. Ils sont ordinairement établis aux frais des usagers, à moins cependant que l'entrepreneur du canal principal ne juge convenable d'établir lui-même, comme embranchements, un certain nombre de ces dérivations secondaires là où il croit avoir de l'avantage à distribuer les eaux plus en détail. L'expérience a prouvé, dans différentes entreprises d'arrosage, notamment en Provence, qu'il est avantageux de laisser le moins possible de canaux secondaires à la charge des propriétaires, attendu que cette dépense, assez élevée, peut les détourner pendant longtemps de recourir à l'usage des eaux.

Quant aux simples rigoles, elles sont toujours aux frais des arrosants, qui les disposent suivant les dimensions et directions convenables pour la superficie qu'ils ont à arroser.

**Canaux de décharge.** — Les canaux de fuite ou de décharge sont ceux qui ont pour objet d'assurer l'écoulement des eaux débitées par les ouvrages régulateurs dans un canal principal, tels que les déversoirs et les vannes de fond. Il n'y a rien de particulier à dire sur ces canaux, qui ne diffèrent en rien de ceux du même genre existant sur les voies navigables, les biefs d'usines, etc. Toutes les fois qu'ils sont d'un niveau assez élevé relativement aux terres riveraines, on ne manque pas d'utiliser leurs eaux pour l'arrosage; mais ordinairement cela ne peut se faire qu'à une assez grande distance en aval du point où ils prennent naissance. D'ailleurs ils ne reçoivent généralement qu'un écoulement irrégulier et éventuel. Lors même qu'il n'y aurait dans un canal d'arrosage aucune surabondance d'eau qui donnât lieu de faire fonctionner les ouvrages régulateurs, les canaux de fuite serviraient toujours régulièrement, deux fois chaque année, pour les mises à sec que nécessitent le faucardement et le curage.

**Des colateurs.** — Les colateurs diffèrent des canaux de fuite

et de décharge, qui n'ont, relativement à eux, que le caractère d'affluents. Ils diffèrent encore plus des canaux principaux et secondaires, puisque dans les mouvements de terrain que réclame un système d'arrosage, ceux-ci sont placés sur des faîtes, tandis qu'eux-mêmes sont essentiellement dans les talwegs; ils en diffèrent, en outre, par leur largeur. Car tandis qu'un canal d'arrosage voit sa section décroître de proche en proche par l'épuisement successif des eaux, le colateur qui dessert une contrée un peu étendue voit au contraire sa portée s'accroître d'une manière inverse. Tant qu'un canal fonctionne simplement comme colateur, on doit lui laisser toute la pente que comportent la disposition et la nature du terrain dans lequel il se trouve établi. On n'y admet généralement ni barrages, ni usines, ni rien, en un mot, qui puisse gêner le libre écoulement des eaux, et nuire ainsi à l'égouttement ou à l'assainissement des terrains arrosés, dont les parties inférieures tendent toujours à conserver un excédant d'humidité. Mais il n'en est plus ainsi quand les colateurs arrivent près des terrains d'un niveau assez bas pour qu'ils prennent eux-mêmes, au moyen de nouvelles dérivations, le caractère de canaux d'arrosage; alors ils y sont toujours utilisés, et l'on opère sur ces nouveaux canaux de la même manière que sur les précédents, jusqu'à l'entier épuisement des eaux, qui doivent être, autant que possible, consommées en arrosage avant d'arriver jusqu'aux bassins inférieurs des grands fleuves. C'est ainsi que le Pô, ce colateur général des plaines de l'Italie, ne reçoit véritablement presque rien sur la masse énorme des dérivations supérieures, qui, sur les terres de sa rive gauche, sont employées en irrigations.

Les colateurs sont indispensables pour une bonne irrigation; ce n'est que par eux que l'on peut assurer l'égouttement et l'assainissement du terrain, qui ne produirait que des herbes marécageuses, s'il restait habituellement humide. On est, il est vrai, quelquefois dispensé d'ouvrir spécialement des canaux de cette espèce : ainsi, quand, vers l'origine même d'une dérivation, il existe des terrains irrigables, comme après un petit trajet le cours d'eau alimentaire se trouve toujours plus bas que le canal, et que là il est en outre à sa proximité, c'est lui qui sert de colateur. Quelquefois on rencontre vers la partie inférieure des terrains à arroser, des ravins profonds, des gouffres ou entonnoirs, ou bien des marais; alors on y jette les colateurs sans s'inquiéter de ce que deviennent les eaux. Cependant en ce qui touche les marais, comme on arrive toujours à entreprendre leur desséchement, il ne faut pas se dissimuler que l'on tend à accroître ainsi les difficultés et les frais de cette opération, en augmentant la masse des eaux qui sont dépourvues d'écoulement.

Il arrive quelquefois que voulant jeter les colateurs ou les eaux de fuite dans un fleuve ou une rivière, on est gêné par les digues qui peuvent avoir été établies pour prévenir les dommages des crues et des débordements de cette rivière. Dans ce cas on intercepte, pendant le temps des crues, la communication entre les terrains à égoutter et la rivière par des vannes ou clapets; dès que les eaux se retirent, on les ouvre, et l'écoulement s'opère librement.

**Canaux d'arrosage et de navigation.** — Souvent l'irri-

gation est distribuée exclusivement à l'aide d'un grand système de canaux secondaires qui ne peuvent recevoir que des barques d'un faible tonnage.

Dans d'autres cas, le canal principal lui-même reçoit des prises d'eau particulières, tout en desservant une navigation active.

Dans le nord de l'Italie, le caractère essentiel de ces canaux consiste dans la forme de leurs écluses, qui présentent, à côté du sas ordinaire destiné au passage des bateaux, un pertuis n'ayant d'autre usage que de transmettre, d'une manière tout à fait indépendante du mouvement de la navigation, les volumes d'eau réclamés par la consommation des bouches.

Des usines sont ordinairement placées sur les chutes mêmes que forment ces pertuis. Mais indépendamment de celles-là, on en autorise, sans aucun inconvénient, sur d'autres points; puisque, sauf de rares exceptions, elles rendent les eaux dans le lit même du canal, et qu'au moyen des pertuis de transmission, on a toujours la facilité de régler convenablement le niveau d'eau dans tous les biefs, sans recourir à la manœuvre des portes d'écluse. C'est donc véritablement l'absence de ces pertuis qui rend les usines presque inadmissibles sur les canaux destinés au seul usage de la navigation.

Le canal de Pavie, dont l'achèvement est moderne, peut servir de modèle dans ce genre. La navigation, l'arrosage et les usines s'y trouvent réunis sans se nuire; et malgré une vitesse assez considérable de l'eau dans les biefs supérieurs, la navigation ascendante y est si peu gênée, que des bateaux postes, faisant le service entre Milan et Pavie, spécialement pour le transport des voyageurs, et attelés seulement de trois chevaux, descendent et remontent plusieurs fois par jour toute la ligne du canal, avec une vitesse minimum de 12 ou 15 kilomètres à l'heure.

On peut donc résumer ainsi les observations précédentes sur les divers systèmes de canaux :

Les canaux principaux, y compris les embranchements et les canaux secondaires, reçoivent les eaux destinées à l'irrigation.

Les canaux de fuite et de décharge servent à mettre à sec ces mêmes canaux, et à recevoir le trop plein de leurs eaux, avant qu'elles aient reçu aucun usage.

Les colateurs, qui occupent essentiellement le niveau le plus bas parmi les ouvrages que nécessite un système d'arrosage, reçoivent le produit de tous les autres canaux, savoir : le produit direct des fuyants et déchargeurs, puis le produit indirect des canaux et rigoles qui leur arrive sous forme de colateurs. On voit par là que les eaux de cette dernière espèce comprennent non-seulement celles qui, après l'irrigation effectuée, découlent de la surface du sol, mais encore celles qui arrivent dans les colateurs sous la forme d'égouttements, suintements ou filtrations. Enfin ils reçoivent aussi le produit des eaux pluviales.

Les canaux secondaires, c'est-à-dire ceux qui dérivent d'une branche principale au moyen de bouches réglées, sont quelquefois laissés à la charge des usagers, et leur établissement ne fait point alors partie des ouvrages à comprendre dans les projets généraux d'irrigation.

Quant aux rigoles qui ne servent qu'à distribuer et à répandre les eaux sur le terrain, et qui peuvent se ramifier à l'infini, on ne s'en occupe jamais dans les projets généraux, et elles appartiennent entièrement à la pratique des arrosages.

## PENTES CONVENABLES POUR LES CANAUX, SOIT D'ARROSAGE SEUL, SOIT D'ARROSAGE ET DE NAVIGATION.

Le point principal dans l'art de tracer les canaux d'irrigation consiste à faire une bonne répartition des pentes, en partant d'un niveau suffisamment stable des eaux alimentaires.

Dans la Provence, où l'on emploie généralement des eaux troubles, les pentes les plus convenables paraissent devoir se tenir entre $0^m,50$ et $0^m,90$ par kilomètre ; on voit cependant adopter quelquefois des pentes qui ne dépassent pas $0^m,30$ à $0^m,36$, même avec des eaux habituellement troubles.

Outre l'avantage de ménager le plus possible les pentes dans l'intérêt de la portion élevée des terrains arrosables, il est encore important de les ménager dans l'intérêt des berges et du lit des canaux, qui sont promptement dégradés par l'effet des grandes vitesses, ce qui peut considérablement augmenter les dépenses d'entretien et de curages. En un mot, le débit, la pente, la section, la vitesse moyenne, et même le périmètre du lit, sont liés entre eux par des relations sanctionnées par la théorie et l'expérience.

**Des sections.** — Si les canaux d'arrosage s'établissaient avec une seule et même inclinaison, ou sous des pentes normales, comme cela a lieu sur les canaux de navigation, alors la section convenable pour un canal d'irrigation devant débiter un volume d'eau déterminé s'établirait en calculant quelle est la largeur correspondante à un certain volume pris pour unité.

Mais attendu qu'il y a de grandes variations à admettre dans les pentes des canaux d'arrosage, l'on conçoit qu'à débit égal la section diminue nécessairement à mesure que la vitesse augmente ; il faut donc recourir à un calcul direct au moyen des formules qui établissent la relation existant entre le volume, la pente, la vitesse et la section d'eau courante.

L'une de ces formules est la suivante :

$$RI = aU + bU^2,$$

dans laquelle R désigne le rapport entre l'aire de la section et le périmètre mouillé ;

I la pente par mètre ;

U la vitesse moyenne, c'est-à-dire celle qui, multipliée par la section, donne le débit Q.

De telle sorte que l'on a toujours $Q = SU$ ou $U = \frac{Q}{S}$.

$a$ et $b$ représentent des coefficients qui sont, d'après Prony :

$$\begin{matrix} a = 0,000044 \\ b = 0,000309 \end{matrix}, \text{ et, d'après Eytelwein, } \begin{matrix} a = 0,000024 \\ b = 0,000366. \end{matrix}$$

Ces dernières valeurs, qui reposent sur un très-grand nombre d'expériences, s'appliquent à des sections de toutes grandeurs et sont le plus généralement adoptées.

Voici comment, à l'aide de cette formule, on parvient à résoudre les problèmes qui se rattachent à l'ouverture des canaux d'arrosage.

Étant donnés le débit Q et la vitesse moyenne U, on propose de trouver la section et la pente qui conviennent pour assurer l'écoulement de ce volume d'eau.

Or, si l'on connaît le débit et la vitesse moyenne, on connaît en même temps la section, puisqu'elle résulte de cette simple relation indiquée plus haut :

$$S = \frac{Q}{U}.$$

Dans l'hypothèse que nous examinons, la section devient elle-même une des données numériques du problème, et il ne reste à calculer que la pente :

$$I = \frac{aU + bU^2}{R}.$$

Mais la quantité R, qui forme le dénominateur du deuxième terme, est elle-même une expression complexe, qui renferme encore des éléments indéterminés ; car, pour connaître le périmètre, il faut que non-seulement la valeur superficielle, mais les dimensions de la section soient connues.

Cette difficulté se lève en introduisant dans le calcul la hauteur d'eau, la largeur au plafond du canal, et les inclinaisons des talus.

La section dont il s'agit étant ordinairement trapézoïdale, on peut, par un simple calcul de géométrie élémentaire, établir son expression, ou fonction de ces deux dimensions.

On connaît toujours l'inclinaison la plus convenable des talus, puisqu'elle résulte de la nature plus ou moins résistante du sol. Supposons donc, pour envisager le problème dans toute sa généralité, que l'un de ces talus fasse un angle $\beta$, et l'autre un angle $\beta'$ avec la verticale. En appelant $l'$ la largeur au plafond et $h$ la hauteur de l'eau ou du périmètre mouillé, on aura cette expression :

$$S = l'h + \frac{1}{2} h^2 (\text{tang}\,\beta + \text{tang}\,\beta')$$

de laquelle on tirera à volonté $l'$ ou $h$ prises pour inconnues, en se donnant l'une ou l'autre de ces deux quantités.

On peut remarquer que si c'est la hauteur d'eau qui est connue, la largeur au plafond s'obtient par la résolution d'une équation du premier degré, tandis que si c'est au contraire cette dernière qui est connue, la hauteur cherchée exige la résolution d'une équation du deuxième degré.

La formule ci-dessus se simplifie dans divers cas qui sont très-usuels ; ainsi si les inclinaisons des talus sont les mêmes sur chaque rive, ce qui arrive presque toujours, on a :

$$S = l'h + h^2 \,\text{tang}\,\beta.$$

Si les talus peuvent être établis à 45 degrés, ce qui a lieu lorsque le déblai a lieu dans un terrain solide, $\tang\beta = 1$, et alors la relation ci-dessus devient :

$$S = l'h + h^2.$$

Enfin si le canal se trouve établi dans des murs, dans des roches ou dans des revêtements verticaux, la section devient rectangulaire, et la même formule, atteignant sa plus grande signification, se réduit à

$$S = l'h.$$

On peut trouver un nombre illimité de sections ayant une même valeur superficielle, avec des dimensions différentes, mais l'on sait que pour les bonnes conditions de l'écoulement, il faut que la hauteur d'eau se tienne autant que possible entre $0^m,55$ et $0^m,25$ de largeur moyenne, en sorte que cette condition déterminera la solution du problème.

Pour arriver à la valeur de la pente que nous avons regardée comme inconnue, il reste à calculer le périmètre en fonction de ces mêmes dimensions $l'$ et $h$ qui viennent d'être déterminées.

Dans le cas particulier d'une section rectangulaire, on a :

$$p = l' + 2h.$$

Mais le cas général est celui des sections trapézoïdales; or on ne peut faire abstraction du plus ou moins de développement du périmètre, qui, pour une même section, s'accroît considérablement à mesure que la hauteur d'eau diminue; par conséquent l'expression ci-dessus doit être réservée pour le seul cas particulier qui s'y rapporte, et où elle correspond à un minimum. Dans tous les autres cas, et surtout lorsque l'inclinaison dépasse 45 degrés, il est indispensable de se servir de l'expression générale

$$p = l' + h(\sec\beta + \sec\beta').$$

La section et le périmètre étant connus, on en déduit immédiatement $R$, ce qui donne tous les éléments du calcul de la pente cherchée; mais on conçoit que le chiffre ainsi obtenu n'est applicable qu'aux portions de canal pour lesquelles les données du calcul précédent restent les mêmes.

**Profil du canal.** — Quand on a calculé les sections et les pentes d'après les règles qui viennent d'être indiquées, il reste à établir le profil général du canal. Avec ou sans revêtement, il faut toujours qu'une certaine hauteur de berge soit ménagée en sus du niveau maximum des eaux, pour empêcher les débordements et obvier à un exhaussement accidentel qui pourrait avoir lieu. Cette hauteur de berge, qui est la même que celle des murs de jouée à laisser au-dessus des déversoirs, varie suivant le régime plus ou moins régulier des cours d'eau alimentaires des canaux, suivant la nature des ouvrages régulateurs placés à la prise d'eau. En général ladite hauteur est à peu près la même que pour tous autres canaux, c'est-à-dire au moins de $0^m,30$ à $0^m,33$ au-dessus du niveau maximum des eaux.

Quant à la disposition des talus intérieurs et extérieurs, elle est conforme à ce qui se pratique dans les autres natures de terrassements.

## OUVRAGES D'ART POUR L'ÉTABLISSEMENT DES CANAUX D'IRRIGATION. — PARTITEURS. — HYDROMÈTRES OU RÉGULATEURS.

**Des partiteurs.** — Les partiteurs ont pour objet de diviser, entre divers usagers et dans des proportions définies, tout le volume d'eau courante que fournit un canal, sans recourir à l'emploi des modules ou hydromètres, c'est-à-dire sans que l'on ait besoin de tenir compte de la quantité d'eau effectivement débitée par ce canal. En Italie, le cas général des partiteurs est celui où ils sont établis sur le courant à partager, sans le secours d'un barrage.

Dans l'écoulement d'un courant d'eau, la vitesse des tranches longitudinales du liquide à partager est à son maximum au milieu, et à son minimum vers les bords du courant. Par conséquent la figure représentative des produits partiels de ces tranches, comprise entre deux lignes parallèles espacées selon la largeur du canal, est terminée, vers l'aval, par une ligne brisée dont on pourrait déterminer la description à l'aide d'un nombre suffisant de flotteurs; mais il faut remarquer que cette courbe approchera toujours plus ou moins d'un angle saillant ordinaire (*fig.* 15, *Pl. VIII*).

Cette assimilation géométrique semble devoir faciliter les moyens d'apprécier d'une part les ressources, et de l'autre l'insuffisance des partiteurs. En effet, leur emploi consiste à partager un angle; or si cet angle doit être partagé en deux parties égales, il suffira d'abaisser une perpendiculaire sur la base du triangle isocèle dont il est le sommet; il s'agira donc simplement, dans ce cas, d'établir le plan de séparation exactement au milieu de la largeur du courant, qui, bien entendu, aura été convenablement encaissé et régularisé, entre des plans bien parallèles, sur une longueur suffisante, de manière que le fil de l'eau ou la ligne de plus grande vitesse coupe nécessairement le milieu du courant. Dans la pratique cette ligne de séparation est formée par l'arête d'une pile aiguë en pierre de taille (*fig.* 15). Mais dans la pratique le partiteur proprement dit n'est pas réduit à cette seule construction; il se compose encore des ouvrages accessoires qui ont pour but de régulariser l'écoulement de l'eau en amont et en aval.

Dans le cas d'égalité dont il s'agit, le partage peut être considéré comme exact, puisque les deux branches du partiteur, placées dans des conditions identiques relativement à la vitesse maximum, recevront symétriquement un pareil nombre de filets fluides ayant des vitesses égales. On voit qu'on obtiendra facilement par le même procédé la moitié, le quart, le huitième, etc., du volume d'eau coulant dans un canal.

Mais si l'on demande à partager la portée d'un canal, soit en deux branches inégales, soit en trois ou plusieurs branches égales ou non, alors si l'on n'a pas recours aux modules, on ne peut plus avoir au-

cune certitude, et l'on rentre dans la classe des approximations. Si, par exemple, pour partager un volume d'eau dans le rapport de 1 à 2, on se contentait de prendre, sans autre précaution, les largeurs respectives des deux branches du partiteur dans ce même rapport, le fil de l'eau ou la vitesse maximum du courant, se trouvant naturellement dans la plus grande, y donnerait un excédant notable de débit au préjudice de la plus petite. Si le partage devait avoir lieu en trois portions égales, cet excédant de débit aurait toujours lieu au profit de la branche du milieu. Cet inconvénient grave des partiteurs du système italien n'a point suffi pour en faire abandonner l'emploi; ce genre d'édifice étant simple et d'un usage commode, on a cherché divers moyens d'en corriger l'inexactitude, afin de pouvoir obtenir des résultats d'une approximation suffisante. Les précautions à prendre consistent à faire en sorte que la vitesse moyenne de l'eau reste sensiblement la même à l'entrée des différentes branches, de manière que les produits puissent être regardés comme proportionnels aux largeurs. Pour arriver à ce but, tantôt on se contente de placer les branches les plus larges dans une direction plus oblique, par rapport à celle du canal principal; tantôt on fait varier la hauteur des seuils qu'il est de règle d'établir à l'origine de chaque branche et à une certaine distance en aval du point de partage, pour régler les pentes de l'eau, dans la longueur de l'édifice; tantôt on établit en amont et en face des branches centrales, qui seraient trop favorablement situées, une petite pile avancée ayant pour objet de diviser le fil de l'eau au profit des branches latérales. Enfin il y a encore plusieurs autres moyens d'arriver au même but, et que l'ingénieur pourra mettre à profit selon les circonstances.

Les précautions usuelles que l'on observe dans la construction des partiteurs sont : 1° de ne les établir jamais que sur des portions rectilignes des canaux ; 2° de régulariser la section de ceux-ci entre des plans bien parallèles, sur une longueur de 140 à 150 mètres au moins, et dans un profil tout en maçonnerie, sur au moins 12 à 15 mètres en amont du point de partage ; 3° d'éviter soigneusement les arêtes saillantes des murs, voûtes, etc., qui donneraient lieu à des contractions inégales de l'eau introduite dans les diverses branches ; 4° d'éviter également pour ces branches l'emploi des aqueducs couverts et tuyaux de conduite, dans lesquels l'écoulement ne s'opère plus dans les mêmes circonstances que dans les canaux et aqueducs découverts.

**Des déversoirs répartiteurs.** — Les déversoirs de superficie donnent aussi un moyen simple de répartir un volume d'eau en autant de parties proportionnelles qu'on le veut : il faut d'abord obtenir l'atténuation de la vitesse préalable qui dirigerait le fil de l'eau plutôt sur un point que sur un autre, par un évasement suffisant, ou bien par tout autre moyen. Ensuite, on divise par de simples cloisons en dalles, briques ou pierres de taille (*Pl. VIII, fig. 16*), la largeur du déversoir en parties égales ou proportionnelles, selon le partage que l'on veut opérer. Mais la construction de déversoirs est ordinairement fort dispendieuse ; il n'est pas toujours possible de les établir en un lieu convenable, et de plus, en

matière d'arrosage, il est généralement défavorable de ne recevoir que par déversement superficiel des eaux qui, en temps de crue, peuvent être chargées de matières fertilisantes. Aussi n'a-t-on pas souvent recours à ce moyen dans les nombreux partages d'eau que réclame l'industrie des arrosages. Enfin, l'on ne dispose pas toujours de la chute nécessaire.

On pourrait encore se servir de petits orifices (*Pl. VIII, fig.* 17) de forme quelconque, rectangulaires ou circulaires, ouverts dans des parois verticales, à une même hauteur au-dessous du niveau de l'eau ; car il est évident qu'en prenant l'écoulement d'un de ces orifices comme unité, le partage se fera en attribuant aux copartageants un nombre convenable de ces unités conventionnelles. Toutefois, il est rigoureusement nécessaire, dans ce cas, de détruire l'effet de la vitesse préalable qui altérerait l'exactitude des résultats.

### DES HYDROMÈTRES OU RÉGULATEURS.

S'il s'agissait d'établir des orifices d'un débit déterminé dans un bassin d'eau dormante d'un niveau constant, ou même dans des canaux à eau courante sujets à des variations de niveau, mais placés dans des circonstances comparables, on pourrait se servir d'appareils divers consistant, par exemple, en un système de plusieurs vannes glissant les unes sur les autres, de manière que celle qui porterait l'orifice jaugé pût monter ou descendre dans des rainures, de manière à suivre les variations du niveau du canal, et à conserver ainsi la charge constante sur l'orifice, ce qui est la condition essentielle de la régularité de l'écoulement.

Mais ces appareils sont impossibles dans la pratique. En effet, les grandes variations de pente, les sinuosités dans les tracés, et d'autres circonstances encore, font que deux orifices pareils, placés à une même hauteur au-dessous du niveau moyen des eaux, ne débitent jamais exactement la même quantité d'eau, s'ils sont placés immédiatement, et sans intermédiaire, dans la berge du canal alimentaire.

La position des propriétés riveraines, relativement à l'axe du canal principal, en introduisant une sujétion évidente dans la direction des canaux particuliers, par rapport à celle de ce canal principal, est déjà une des causes qui contribuent à ce résultat. En effet, les *fig.* 18 *et* 19, *Pl. VIII*, montrent que le fil de l'eau qui, dans le premier cas, se dirige vers la dérivation particulière de la parcelle A, tend, au contraire, à la fuir dans la parcelle B, d'après la grande différence d'obliquité des deux directions ; si, en outre de cette disposition qui se présente souvent, on suppose le cas d'une vitesse considérable dans le canal alimentaire, l'inégalité des deux situations sera encore plus prononcée, et les débits seront constamment inégaux dans une proportion marquée.

Après bien des essais et des tâtonnements infructueux, on s'est arrêté définitivement, dans les Etats du nord de l'Italie, au système de régulateur qui consiste dans l'interposition d'une vanne et d'un sas d'une certaine longueur ; entre l'eau du canal et la bouche de distribution, cette vanne se règle de manière à ce que, pour tel état

des eaux que l'on veut adopter, l'écoulement correspondant à l'équilibre soit l'écoulement normal qu'il s'agit d'obtenir.

Cette disposition ingénieuse, inventée dans le Milanais, avant même que la science de l'hydraulique ne fût arrivée à sa perfection, est néanmoins conforme à ce que la théorie peut indiquer de plus efficace pour obtenir l'effet désiré.

Examinons le principe particulier d'écoulement dans l'appareil milanais, et étudions l'effet d'une vanne interposée entre un réservoir alimentaire et un orifice déterminé (*Pl. VIII, fig.* 20).

Soit H la hauteur d'eau sur l'orifice ouvrant sur le canal;

S′, la section de cet orifice;
S l'orifice d'écoulement définitif;
$h$ la hauteur d'eau sur cet orifice;
$m$ le coefficient de la contraction;
Q le débit par seconde.

L'équilibre une fois établi, il y aura égalité entre le débit sous la vanne et celui qui s'effectue par l'orifice d'écoulement, ce qui donne l'équation

$$mS'\sqrt{2g(H-h)}=mS\sqrt{2gh}.$$

Si nous supposons que l'eau s'élève dans le canal d'une quantité $a$, la hauteur totale deviendra $H+a$, et la charge sur l'orifice d'écoulement après le rétablissement de l'équilibre prendra une valeur que l'on peut appeler $h'$.

On aura alors cette autre équation :

$$mS'\sqrt{2g(H+a-h')}=mS\sqrt{2gh'}.$$

De ces deux équations, on tire

$$h'=h\left(1+\frac{a}{H}\right),$$

et pour le débit correspondant :

$$Q'=mS\sqrt{2gh\left(1+\frac{a}{H}\right)}.$$

Appelons S″ la section libre qui, sous la charge totale H, donnerait le même débit que la section S sous la charge $h$, nous aurons l'équation

$$mS\sqrt{2gh}=mS''\sqrt{2gh}.$$

Supposons de nouveau une élévation $a$ du niveau de l'eau du canal, le débit par l'orifice précédé d'une vanne sera toujours

$$Q=mS\sqrt{2gh'}=mS\sqrt{2gh\left(1+\frac{a}{H}\right)}.$$

Le débit par l'orifice ouvrant directement sur le canal sera alors

$$Q''=mS''\sqrt{2g(H+a)},$$

et en remplaçant S″ par sa valeur qui est, d'après l'équation ci-

dessus, $\frac{S\sqrt{h}}{\sqrt{H}}$, on trouve, pour le débit de cet orifice ouvrant directement sur le canal après l'exhaussement $a$,

$$Q'' = mS\sqrt{2gh\left(1+\frac{a}{H}\right)},$$

c'est-à-dire une expression identique avec celle qui a été donnée plus haut pour le débit de l'orifice précédé d'une vanne et d'un bassin, ce qui prouverait que la vanne interposée est sans utilité.

Cependant ces calculs ne sont pas admissibles; car en établissant qu'il s'agissait d'un orifice noyé, puisque nous avons employé l'expression $H-h$, nous avons supposé qu'un seul et même coefficient $m$ pourrait servir, dans les deux cas, comme multiplicateur du débit théorique des orifices, ce qui ne peut être.

En effet, outre le plus grand effort de contraction qu'éprouvent les filets fluides pour s'infléchir d'une hauteur aussi grande vers l'orifice S' placé au fond même du canal, et toujours très-peu élevé, il y a un frottement notable qui s'effectue de S en S', lequel est d'autant plus grand que la hauteur H est plus considérable. Il n'y a donc pas d'identité entre la manière dont le débit théorique se trouve modifié au passage des sections S et S'.

Si le coefficient connu de la contraction qui a lieu à l'orifice d'écoulement reste désigné par $m$, on devra désigner par $m'$ le multiplicateur différent qui modifie l'écoulement à l'entrée de la vanne hydrométrique, à la suite de laquelle l'eau éprouve des frottements et des diminutions de vitesse se traduisant nécessairement en une *perte de force vive.*

Or c'est cette perte de force vive que l'on utilise dans la pratique des régulateurs du système milanais, sinon pour détruire, au moins pour atténuer, dans une proportion notable, les variations de débit qui correspondraient aux variations accidentelles dans la hauteur d'eau du canal alimentaire, si l'orifice jaugé était ouvert dans la berge même de ce canal.

Reprenant donc pour les mêmes données, mais avec cette distinction essentielle, le calcul ci-dessus, qui n'était fait que dans une supposition purement hypothétique, nous aurons pour l'écoulement préparatoire :

$$Q' = m'S'\sqrt{2g(H-h)};$$

pour celle de l'écoulement définitif :

$$Q = mS\sqrt{2gh}.$$

Et comme, dans l'état d'équilibre, ces deux débits doivent être égaux, on aura toujours l'équation

$$m'S'\sqrt{2g(H-h)} = mS\sqrt{2gh}.$$

Dans son usage le plus simple, la vanne interposée entre le canal et l'orifice de distribution a une efficacité immédiate, qui est de pouvoir toujours ramener, par la seule variation de son ouverture,

la pression normale $h$ à ce qu'elle doit être, et cela pour une valeur quelconque de H.

C'est là un fait élémentaire qui ne peut donner lieu à aucune contestation et qui constituerait déjà une grande supériorité pour les appareils de ce système.

Mais l'appareil en question fonctionne par sa seule puissance, c'est-à-dire que, sans que l'on en effectue la manœuvre, il a déjà par lui-même pour effet d'atténuer les variations accidentelles de débit résultant des variations de hauteur d'eau dans le canal, et cela sans que l'on ait besoin de toucher à la vanne régulatrice.

Au surplus, il résulte de nombreuses expériences faites sur les vases communiquants, que si, dans un vase ou réservoir maintenu à un niveau constant, on interpose une vanne ou cloison, percée d'une ouverture, entre la masse d'eau de ce réservoir et l'orifice libre, il s'établit toujours entre les deux compartiments du réservoir une différence de niveau constante, et que cette différence est d'autant plus prononcée que l'ouverture interposée est moindre relativement à celle de l'orifice libre.

Les *fig.* 20 *et* 21, *Pl. VIII*, représentent en plan et coupe longitudinale les dispositions élémentaires d'un régulateur. Ces dispositions sont les suivantes :

1°. Longueur d'environ 6 mètres pour le sas en amont de la bouche, et de 5m,40 pour celui placé en aval ;

2°. Retraite d'environ 0m,35 pour la largeur du premier sas, en sus de la largeur réelle de l'orifice de distribution, largeur qui varie avec l'importance de la distribution ;

3°. Hauteur constante dudit orifice, réglée à 0m,20 pour la distribution des eaux milanaises ;

4°. Radier du sas d'amont, disposé suivant une rampe de 0m,35 ou de 0m,55 par mètre, depuis la vanne hydrométrique jusqu'à la bouche de distribution ;

5°. Largeur du sas d'aval, fixée seulement à 0m,40 en sus de celle de la bouche régulatrice ;

6°. Chute de 0m,05 seulement à la sortie de cette bouche, et pente presque insensible du radier du sas d'aval, dont la longueur habituelle est fixée de 5 à 6 mètres.

On voit que toutes ces dispositions sont ingénieusement calculées pour obtenir le plus complétement possible la limitation des variations de débit, en cas d'exhaussement ou d'abaissement accidentels dans le canal alimentaire. En effet, le principe étant basé sur l'inégalité des coefficients $m$ et $m'$, la rampe du radier, qui part du seuil même de la vanne, agit directement dans ce but, en augmentant le frottement que l'eau éprouve à son entrée dans le sas. Le rétrécissement du sas d'aval, la faible chute et la pente insensible de son radier sont encore des dispositions ingénieuses, calculées de telle manière que l'orifice est en partie noyé sous l'influence d'un excédant de débit un peu considérable ; de sorte que, dans ce cas, il se sert à lui-même de régulateur. Tel est l'ingénieux appareil inventé et appliqué dans le Milanais, au grand avantage de la police des irrigations.

## DES RÉSERVOIRS D'IRRIGATION.

La première condition à remplir pour un réservoir destiné aux irrigations, c'est qu'il puisse fournir annuellement la quantité d'eau sur laquelle on a compté. En d'autres termes, on ne peut y puiser utilement que la quantité d'eau qui pourra se renouveler dans le délai d'une année au plus, à partir du commencement de la saison où l'on s'en sert. La capacité de ces réservoirs doit donc être basée, non sur le besoin plus ou moins grand que l'on peut avoir de l'eau, mais sur la possibilité de l'y approvisionner chaque année en quantité suffisante. On ne peut pas appliquer aux réservoirs d'irrigation des dépenses aussi considérables qu'à ceux qui ont pour objet l'alimentation des canaux navigables, car les revenus qu'on pourrait en attendre de part et d'autre ne seraient pas en rapport.

Les réservoirs destinés à l'arrosage doivent être placés presque exclusivement en pays de montagnes, où ils peuvent avoir facilement la grande profondeur qui leur est nécessaire; car on l'obtient soit en barrant des gorges escarpées à l'endroit des goulets ou étranglements qu'elles présentent, soit en profitant des lacs naturels. C'est toujours dans ces deux cas que se trouvent les réservoirs d'irrigation qui n'ont exigé que des dépenses modérées et qui remplissent bien leur destination.

Quand on dispose d'un emplacement convenable et qu'on s'est assuré d'une alimentation suffisante, la relation entre la capacité du réservoir et les besoins de l'irrigation est facile à établir. Il s'agit de connaître d'abord, au moins en moyenne, la quantité d'eau qui sera réclamée par chaque hectare de terre pendant le nombre de mois que doit fonctionner le réservoir. Si l'on nomme $q$ cette quantité et $h$ le nombre d'hectares arrosés, la capacité du réservoir devra être égale au produit $qh$; c'est le volume d'eau utile, celui qui sera payé par les usagers; mais il doit être augmenté : 1° du volume d'eau consommé par l'évaporation dans la saison d'été; 2° de celui qui est représenté par le total des pertes et filtrations; 3° d'un volume supplémentaire, tenu en réserve au delà des besoins prévus, soit pour faire face à des besoins ultérieurs, soit pour prévoir le cas d'une sécheresse extraordinaire qui ne permettrait pas au réservoir de se remplir.

Dans l'établissement d'un réservoir artificiel il faut surtout se préoccuper des moyens d'alimentation : ce serait en pure perte qu'on construirait un barrage très-dispendieux pour fermer un emplacement qui ne se remplirait pas.

**Réservoirs dans le département des Pyrénées-Orientales.** — Le département des Pyrénées-Orientales présente une grande étendue de terres sur lesquelles s'effectuent des irrigations opérées avec soin. Mais les cours d'eau qui les alimentent étant sujets à des étiages très-prononcés, cela apporte une moins-value considérable dans les avantages que représenterait la même superficie dotée d'un arrosage non interrompu.

Le conseil général du département, voulant témoigner l'intérêt qu'il prenait aux progrès des arrosages, déclarait, en 1845, qu'il ne voyait rien de plus éminemment utile pour le département que la création de vastes réservoirs où l'on pourrait retenir, à partir de la fin de l'automne, un volume d'eau assez abondant pour suppléer, dans les temps de sécheresse, à l'insuffisance de celles qui peuvent être consacrées aux irrigations. Cette assemblée demandait que M. le préfet chargeât en conséquence les ingénieurs d'étudier la question pour l'établissement de pareils réservoirs sur les principales rivières alimentant les arrosages du Roussillon.

Ces études préparatoires ayant été faites, les ingénieurs du département présentèrent, en 1847, des avant-projets pour la construction de plusieurs grands réservoirs destinés à recueillir en hiver les eaux affluentes dans les parties supérieures des vallées de la Tet et du Tech, afin de racheter la pénurie de près de trois mois dont souffrent chaque année la majeure partie des terrains arrosés par les eaux de ces rivières, et d'étendre en outre l'étendue des terrains jouissant du bénéfice de l'irrigation.

**Réservoirs sur le Tech.** — A peu de distance du village de Corsavy, les deux petites rivières du Pas-de-Labat et de Lafon traversent, après leur réunion et avant de se rendre dans le *Tech*, une anfractuosité de roches qui, dans sa partie inférieure, n'a que $1^{m},50$ de largeur, et 21 mètres de largeur à 45 mètres de hauteur. On a proposé de fermer cette anfractuosité par un mur de retenue qui serait élevé jusqu'à cette hauteur de 45 mètres, et en amont duquel les eaux des affluents précités seraient approvisionnées pour être versées dans le lit du Tech et y servir à étendre et compléter les irrigations que cette rivière alimente.

La hauteur sans doute bien considérable de ce barrage était justifiée par la forme exceptionnelle de la coupure qu'il devait fermer, par la facilité de son encastrement dans d'énormes massifs de rocher granitique d'une résistance illimitée. Les mêmes circonstances favorables avaient déterminé les ingénieurs à adopter le chiffre de $17^{m},50$ comme épaisseur maximum à la base de ce barrage, qui devait être partagé sur toute sa hauteur par des retraites ayant 1 mètre de largeur chacune dans la face d'aval, revêtue en pierres de taille, et de $1^{m},25$ du côté des réservoirs, où le parement devait être en moellons smillés. Les parements du mur entre ces retraites étaient d'ailleurs projetés uniformément, avec $\frac{1}{10}$ de fruit. Un parapet en maçonnerie de même nature était projeté sur une certaine hauteur, pour prévenir l'effet des corrosions pouvant être occasionnées par les vagues et glaçons.

Trois aqueducs fermés par des vannes en fonte, ayant chacun $1^{m},50$ de hauteur et $0^{m},80$ de largeur, étaient répartis sur la hauteur du barrage, pour donner passage aux eaux, selon les besoins de l'irrigation.

Le réservoir créé par le barrage de Corsavy, sur une longueur d'environ 1000 mètres, et ayant une superficie de $14^{h},34^{a},10^{c}$, devait renfermer un cube de 2388430 mètres cubes. Sa dépense,

d'après le mode de construction qui vient d'être indiqué, n'était évaluée, dans les avant-projets, qu'à 140000 francs.

Généralement, pour garantir la possibilité du remplissage complet d'un réservoir pendant un certain nombre de mois, on doit, pour procéder avec une entière régularité, se baser sur des jaugeages ou sur d'autres évaluations précises. Dans le cas actuel, les auteurs du projet du réservoir de Corsavy ont pu se dispenser de ce travail, en remarquant que, pendant la période de dix mois que durerait l'approvisionnement, il suffisait que l'un des ruisseaux alimentaires, celui du Pas-de-Labat, qui fait tourner un moulin, débitât environ 100 litres par seconde, ce qui était bien au-dessous de son produit moyen.

Les pertes dues aux infiltrations, à l'évaporation et à toutes autres causes, étant évaluées à $\frac{1}{6}$ du cube total, on trouvait qu'il pouvait être définitivement consacré au perfectionnement des arrosages de la vallée du Tech un volume de 2240 275 mètres cubes.

Et en divisant ce nombre par 5140000 secondes, correspondantes à la durée de deux mois de pénurie, on obtenait un débit régulier de 432 litres. De manière qu'en comptant, même à raison de $\frac{1}{2}$ litre par seconde et par hectare, ce qui est une base très-élevée dans ce pays où l'arrosage s'effectue avec la plus grande économie, on pouvait, avec les ressources offertes par le réservoir, procurer l'irrigation continue à 864 hectares.

La redevance de 10 à 12 francs offerte par les propriétaires arrosants pour cette amélioration semble d'ailleurs devoir couvrir suffisamment les dépenses de l'entreprise, qui était basée sur un emprunt remboursable par annuités; et l'on avait calculé que l'amortissement aurait lieu dans un délai assez court.

Cette entreprise était donc regardée comme d'une grande utilité pour l'avenir agricole du Roussillon, contrée dans laquelle l'arrosage, même effectué avec la stricte économie des eaux, triple moyennement la valeur des terres, soit en capital, soit en revenu.

## DES QUANTITÉS D'EAU NÉCESSAIRES A L'IRRIGATION D'UNE ÉTENDUE DÉTERMINÉE DE TERRAIN.

Dès que l'on aura pourvu à ce qui concerne l'approvisionnement ou la concession du volume d'eau total, on règlera les quantités d'eau nécessaires à l'irrigation d'une étendue déterminée de terrain. Les dimensions et la pente des rigoles principales, qui ne sont autre chose que de petits canaux de distribution, devront être calculées de manière à débiter exactement, dans un temps donné, les volumes d'eau partiels à attribuer à telle ou telle portion du périmètre arrosable.

Or, les quantités d'eau réclamées par une même étendue de terrain sont extrêmement variables, suivant la nature plus ou moins perméable du sol, suivant celle des récoltes à arroser; enfin, sui-

vant que le climat est plus ou moins méridional; les indications relatives aux quantités d'eau doivent donc précéder celles qui traitent de l'établissement des rigoles et de la pratique de l'arrosage. Les plantes pompent l'humidité du sol par l'extrémité des fibres les plus délicates de leurs racines. Il en est qui sont chevelues et traînantes comme celles des herbes des prairies, et qui occupent à peine quelques centimètres de profondeur dans la terre; d'autres, au contraire, comme les sainfoins, les luzernes et la plupart des arbres, lancent des pivots à une assez grande profondeur. Ainsi, par la raison que l'eau d'irrigation, pour produire son effet utile, doit pénétrer dans des couches aussi inégalement situées, on doit concevoir qu'il faut, pour arriver à un même résultat, la dépenser en quantités très-variables, sur une étendue de terrain déterminée suivant la culture à laquelle ce terrain est consacré. De plus, le degré de perfection dans le dressement de la surface du sol exerce aussi une grande influence sur la consommation de l'eau; on en perd d'autant moins que cette surface est mieux disposée.

D'après les nombreuses causes de variation, il est difficile d'apprécier exactement à l'avance la quantité d'eau d'arrosage qu'il sera convenable d'employer sur une étendue donnée de terrain. Le but que l'on a, en cherchant la quantité d'eau moyenne que doit consommer l'irrigation, est de déterminer les relations qui s'établissent, soit entre l'administration et les créateurs de canaux, soit entre ceux-ci et les usagers; voilà pourquoi, tout en sachant bien qu'une foule de circonstances doivent rendre variable le volume d'eau nécessaire à l'arrosage d'une certaine étendue de terrain, on doit néanmoins connaître une évaluation moyenne du rapport qui existe entre un certain écoulement ou débit continu, pris pour unité, et la superficie de terrain à laquelle il peut fournir une irrigation convenable.

L'administration supérieure, compétente pour régler, au point de vue de l'intérêt général, les divers volumes d'eau à dériver des fleuves et rivières, dans l'intérêt de l'agriculture ou de l'industrie, a dû se faire une règle pour la moyenne des allocations à adopter en matière de canaux d'arrosage.

Cette règle, qui n'est qu'approximative, a été presque constamment basée sur le chiffre de 1 litre par seconde par chaque hectare de terrain à arroser. Mais ce n'est point d'après cette base que peuvent compter les propriétaires arrosants; les uns n'emploieront l'eau la plupart du temps que d'une manière intermittente, ils n'ont donc besoin de se rendre compte du volume mis à leur disposition que pour chaque arrosage; en multipliant ce cube par le nombre d'arrosages à opérer dans la durée de la saison, ils trouvent le chiffre du volume qui leur revient dans le partage général.

**Arrosage dans les contrées méridionales.** — En ne tenant compte que de la différence des cultures, on peut constater déjà de très-grandes différences dans la consommation de l'eau.

Les rizières, qui exigent une alimentation continue, réclament moyennement par mois 6 à 7 mille mètres cubes; soit un débit continu d'environ 2^lit^,50 par seconde, quand il n'y a que peu de filtrations. Les jardins maraîchers réclament à peu près la même quantité.

Ensuite viennent les prairies, les luzernes, haricots, etc.; les garances, qui consomment environ $0^{lit},60$; et enfin les cultures diverses, telles que céréales, oliviers, pépinières, etc., qui n'ont pas d'attribution bien réglée et ne reçoivent en quelque sorte qu'une irrigation éventuelle, basée dans tous les cas sur une dépense d'eau beaucoup moindre que les précédentes.

Il y a dans l'arrosage du Midi deux catégories bien distinctes sous le rapport de la régularité de l'arrosage; la première catégorie, celle des cultures régulièrement arrosées, forme ordinairement de 0,60 à 0,65 de la totalité des terres engagées dans l'association, ou 1800 hectares sur 2900. Ces terres de la première catégorie sont seules soumises à la taxe annuelle de l'entretien du canal. Les autres ne payent qu'une taxe basée sur l'arrosage effectif qu'elles reçoivent.

Lorsque l'on fait le relevé de toutes les cultures de différente nature arrosées dans une année sur les canaux de Cavaillon et autres du département de Vaucluse, on trouve, pour la consommation moyenne d'un hectare, un volume d'eau qui répond au débit continu de $0^{lit},80$ à $0^{lit},90$ par seconde. L'allocation du premier litre par seconde par hectare, se trouve donc réellement suffisante; mais il faut encore observer que cette allocation est faite en temps d'étiage, c'est-à-dire pour l'état le plus bas du cours d'eau alimentaire. Or, pour les cours d'eau qui, comme la Durance, n'arrivent à leurs plus basses eaux qu'en automne, on a pu faire, pendant près de cinq mois, d'abondantes irrigations, qui ne se trouvent réellement pas frappées de la restriction ci-dessus, attendu que l'Administration tolère que les usagers profitent, pendant le cours de la saison, de tout le volume excédant celui qui est réglé à l'étiage.

Dans le Roussillon, où l'on ne fait pas en grand la culture maraîchère comme en Provence, et où l'on a conservé l'usage d'arroser par submersion sur des superficies presque planes, encaissées entre des bourrelets de terre, on use, principalement pour les prairies, des quantités d'eau moindres que celles qui viennent de ressortir des considérations données ci-dessus; et malgré que l'on opère sur un terrain d'alluvion à sous-sol de gravier et par conséquent assez perméable, les quantités d'eau d'arrosage consommées par hectare atteignent rarement 320 à 350 mètres cubes par arrosage, soit pour 12 arrosages moyennement 4300 mètres cubes, ce qui, en écoulement continu, ne représenterait qu'un débit d'environ $0^{lit},30$. Les terrains qui jouissent dans cette contrée d'un arrosage régulier basé sur un écoulement de $0^{lit},50$, sont regardés comme très-abondamment pourvus. Et ce serait porter le trouble dans les habitudes locales que d'introduire dans cette contrée les dépenses d'eau usitées en Provence et ailleurs.

**Arrosage dans les contrées septentrionales.** — Si l'on examine ce qui se passe dans les contrées septentrionales, où il semblerait que les quantités d'eau d'arrosage doivent être moindres que les précédentes, on trouve un état de choses très-différent et des circonstances qui ne sont plus comparables.

En effet, l'irrigation, presque exclusivement réduite aux prairies

permanentes, n'a plus généralement pour but de procurer au sol l'humidité qui lui manque absolument en été dans les pays du Midi, mais bien plutôt de lui fournir un *limonage fertilisant*, opération qui s'effectue principalement dans les mois d'hiver, et qui s'étend au plus tard jusqu'à la fin de mars.

Il existe cependant de véritables arrosages faits à l'aide de canaux dans des contrées septentrionales, et l'on peut en citer des exemples fort remarquables. Mais par suite de circonstances particulières, qui tiennent sans doute à la perméabilité du sol, les quantités d'eau employées, même pour le seul usage des prairies, sont incomparablement plus grandes que celles qui sont usitées dans le Midi.

L'une des plus remarquables, des entreprises de ce genre, est sans contredit celle qui s'effectue en Belgique, dans les dunes jadis entièrement stériles de la Campine. Par un heureux concours du gouvernement, des propriétaires du sol et des compagnies industrielles, une vaste étendue de ces sables mobiles est aujourd'hui en voie de transformation complète, par le défrichement et la colonisation. De plus, c'est l'irrigation, opérée avec les eaux du canal de jonction de la Meuse au Rhin, qui est l'agent fertilisant auquel cette merveilleuse transformation est due. Or, bien que le sable fin ne soit doué que d'une perméabilité très-modérée, relativement à plusieurs autres natures de terres, bien que la forme des billons, qui est toujours observée dans cette localité, soit celle à laquelle correspond la plus complète utilisation de l'eau, la quantité consommée dans cette irrigation correspond à un débit continu de 3 litres par seconde; ce qui est le triple de ce que consomme un hectare de prairies, donnant trois ou quatre coupes, dans le midi de la France.

La même observation faite pour l'entreprise d'irrigation commencée anciennement sur une petite échelle, sur les bords de la Moselle, par les frères Dutac, et continuée aujourd'hui très en grand, avec autant de succès que d'intelligence, par MM. Naville, de Genève, on trouve des chiffres qui sortent encore bien davantage des limites usuelles que nous venons de signaler. En effet, dans cette localité, il faut aller jusqu'à 5 et 6 litres par seconde et par hectare pour avoir, tout compris, les quantités d'eau nécessaires à cette transformation immédiate des plages de gravier en prairies.

Ainsi, sans toutefois ériger en principes les cas particuliers que nous venons de citer, ils tendent à montrer que les arrosages méridionaux sont principalement ceux qui rentrent dans les limitations rigoureuses du volume d'eau, et qui réclament l'emploi d'appareils régulateurs.

## DE LA PRATIQUE DES IRRIGATIONS.

Les travaux préparatoires à faire pour l'opération des irrigations dépendent de la nature des cultures. Les prés, les jardins, les champs, les rizières exigent des dispositions différentes, et on doit dès lors toujours savoir à quel genre de récoltes le terrain sera consacré.

Avant de parler des différentes méthodes d'arrosage, nous allons

indiquer les préparations préalables du sol que réclame l'arrosage des prairies, qui, en France surtout, sont le genre de culture le plus intéressé à l'extension des irrigations.

Un principe bien simple doit diriger l'exécution de ces travaux. Il faut que l'eau, autant que possible, *arrive partout,* mais *qu'elle ne séjourne nulle part.* C'est à l'accomplissement parfait de cette double condition qu'on doit le succès plus ou moins grand des arrosages. La seconde est plus importante que la première, car un terrain incomplétement irrigué donnera lieu à des non-valeurs, en ce sens qu'à égalité de dépenses, les produits seront moindres que si l'on eût opéré avec plus de perfection, tandis qu'un terrain où l'eau d'arrosage s'écoule incomplétement devient immédiatement nuisible, en donnant naissance à des herbes marécageuses dont le voisinage est toujours pernicieux.

Quel que soit le système d'arrosage que l'on adopte, il faut que cette condition de l'assainissement complet du terrain soit préalablement remplie. C'est pour cela que, dans toute opération d'une certaine étendue, il y a toujours à exécuter des travaux de terrassement. On les fait généralement à la bêche, qui est la meilleure manière d'en assurer la bonne exécution.

La première chose à faire est donc, avant tout, de s'assurer que les eaux que l'on va répandre en abondance s'écouleront le plus complétement possible. Cela exige que le sol, quelles que soient ses pentes, ne présente ni flaches ni dépressions. Dans les terrains en pente, les choses sont naturellement disposées pour un bon écoulement général des eaux, et l'on a peu de frais à faire pour assurer leur écoulement partiel. Mais comme le cas le plus rare est celui où l'on a des eaux disponibles au-dessus des coteaux, que dès lors des pentes naturelles assez prononcées existent rarement sur de grandes étendues, en contre-bas du tracé des rigoles principales d'arrosage, il résulte de là que c'est à l'irrigateur à disposer son terrain de manière à lui donner les conditions voulues, d'abord pour que l'eau ne séjourne nulle part après l'arrosage, et ensuite pour que chaque parcelle reçoive, aussi également que possible, le bénéfice de l'irrigation.

Cette précaution fondamentale doit trouver son exacte application dans les divers systèmes d'arrosage dont nous allons dire successivement quelques mots.

**Arrosage par infiltration.** — L'arrosage par infiltration est le système le moins répandu et qui a le moins d'importance. Il consiste à introduire dans des rigoles horizontales, convenablement espacées sur un terrain en pente, une petite quantité d'eau pour humecter seulement le sol, sur une zone plus ou moins large, en aval de chaque rigole. Il y a des terrains constitués de telle manière, quant au sol et au sous-sol, que cette méthode, généralement très-imparfaite, y donne de bons résultats avec de petites rigoles distancées de 3 à 4 mètres l'une de l'autre, et une quantité d'eau qui peut descendre jusqu'à 120 mètres cubes à 100 mètres cubes par hectare. Ce sont ceux d'une perméabilité moyenne, mais dont le sous-sol, à une faible profondeur, ne jouit plus de cette qualité. Alors les

eaux introduites dans chaque rigole s'infiltrent peu à peu, à la faveur de la pente, de manière à humecter bientôt toute la zone qui s'étend jusqu'à la rigole inférieure.

Mais c'est là un cas que l'on peut regarder comme exceptionnel; car si l'on a, ou une terre compacte, ou un sous-sol perméable, ou un terrain d'une très-faible inclinaison, alors cette pratique ne donne plus que des résultats très-imparfaits.

**Arrosage par submersion pour les prairies.** — Cet arrosage consiste à introduire les volumes d'eau dont on peut disposer sur des compartiments presque sans pente, que l'on a eu soin d'entourer entre des bourrelets d'une saillie un peu plus forte que l'épaisseur maximum de la lame d'eau que l'on veut répandre sur les prairies. On voit d'après cela que ce mode d'arrosage ne convient pas sur les terrains en pente prononcée, ni sur ceux-là mêmes qui, étant très-peu inclinés, présentent de nombreux accidents; car alors la nécessité d'exécuter des terrassements ramènerait la préférence en faveur d'une autre méthode beaucoup plus parfaite, celle des billonnages, dont nous allons parler plus bas.

Afin d'étendre le plus possible les compartiments, sans être obligé d'exécuter des terrassements, et pour conserver aux bourrelets d'encaissement leur hauteur uniforme, on les dirige ordinairement suivant les lignes de niveau du terrain, ce qui fait qu'ils se présentent sous des angles plus ou moins aigus sur la direction des lignes de thalweg, qui doivent toujours être envisagées, attendu qu'il n'y a pas de bonne irrigation sans écoulement, et que c'est nécessairement par les thalwegs que cet écoulement s'opère d'une manière définitive.

On donne à ces compartiments d'arrosage la plus grande superficie possible, mais elle est généralement très-limitée, d'après les pentes du sol. Une largeur de 12 à 15 mètres est regardée comme suffisante si les longueurs sont un peu considérables.

Les bourrelets se font en terre et gazon, et ces matériaux sont ordinairement fournis par voie d'emprunt, au moyen de la fouille de petits fossés ouverts dans la même direction, mais toujours à l'intérieur.

Le milieu de chaque compartiment doit avoir sa ligne d'écoulement pour l'assainissement complet après chaque arrosage, car cette méthode est une de celles qui donnent le plus promptement naissance aux mauvaises herbes quand le sol n'est pas parfaitement égoutté.

Pour les terres labourables, c'est-à-dire pour les récoltes qui sont principalement soumises à l'arrosage, on emploie une méthode mixte qui semble intermédiaire entre toutes les autres; car cet arrosage s'effectue à la fois par submersion, par infiltration, et à l'aide de rigoles, mais de rigoles qui ne déversent pas. Ces rigoles ouvertes, sur des dimensions variables, au pied des plantes à arroser qui sont essentiellement en lignes, absorbent les quantités d'eau que l'on juge convenable de dépenser au profit de la végétation.

Ces quantités sont d'ailleurs extrêmement variables, selon le climat, les cultures et la qualité du sol.

## RIGOLES ET BILLONNAGES.

Les méthodes d'irrigation les plus usitées, notamment pour les prairies, sont celles où l'on distribue l'eau à l'aide de rigoles; ou bien ces rigoles sont horizontales et suivent toutes les inflexions du terrain en se projetant en plan comme les courbes des plans topographiques, ou bien elles sont accompagnées d'un terrassement préalable qui dispose les sols trop peu inclinés en petits faîtes, avec deux versants dont les jonctions inférieures forment des lignes d'écoulement ou d'égouttement.

Les rigoles simples, ou rigoles proprement dites, conviennent aux terres qui ont une pente assez prononcée et où l'on peut disposer d'une quantité d'eau assez considérable. Les rigoles billonnées commencent à être nécessaires quand le sol à arroser a une inclinaison moindre de 1 pour 100. Cette dernière méthode étant la plus exacte de toutes et celle qui permet de répartir l'eau avec le plus de régularité et d'économie, c'est sur elle que nous allons donner quelques notions.

**Billonnages.** — On nomme ainsi la disposition régulière du sol irrigable suivant des lignes de faîtes dirigées dans le même sens que la pente générale du terrain. Les billons ou ados sont les espèces de petits contre-forts résultant du relèvement des terres, suivant cette forme qui est la plus régulière de toutes et à laquelle, toutes circonstances d'ailleurs égales, correspond la moindre dépense de l'eau consacrée à l'arrosage.

La direction des billons est presque toujours perpendiculaire à celle du canal secondaire ou de la rigole principale, dont ils reçoivent immédiatement les eaux. On ouvre sur la ligne de faîte les rigoles de distribution, et, si cette opération est faite avec tout le soin désirable, ces rigoles vont toujours en diminuant de largeur de l'origine à l'extrémité, tandis que celles d'écoulement, qui sont au pied des versants, augmentent dans le sens inverse. Il est encore d'usage de donner à ces dernières rigoles une section à peu près double de celle des premières, afin d'éviter toute stagnation nuisible des eaux, c'est-à-dire qu'on a fait la largeur, à l'origine de ces rigoles d'écoulement, égale à la plus grande largeur des rigoles alimentaires. Cette précaution est motivée surtout par les chances d'engorgement qui peuvent avoir lieu dans ces rigoles inférieures, soit par la chute de quelques corps étrangers, soit par le rétrécissement successif qu'y produit la croissance rapide du gazon qui les borde.

Une différence non moins marquée s'observe également dans les pentes. Celle des rigoles supérieures ou alimentaires n'est que de $0^m,0005$ à $0^m,0008$ par mètre; celle des rigoles d'écoulement va de $0^m,001$ à $0^m,0016$.

Ainsi, dans le système d'irrigation des prairies par planches billonnées, qui est le plus parfait, tout est combiné pour le plus complet écoulement des eaux qui ont servi à l'arrosage.

Les rigoles supérieures se nomment *rigoles de distribution* ou *rigoles de faîte;* les autres portent le nom de *rigoles d'écoulement*

ou *rigoles de colature*. On nomme *ailes* les surfaces ou planches transversales comprises entre la rigole de faîte et celle de colature. Quand les pentes sont très-faibles et les eaux d'irrigation abondantes, on pourrait croire que l'on peut étendre indéfiniment les longueurs des billons, ce qui entraînerait un accroissement correspondant dans la dimension des rigoles; mais l'expérience a toujours prouvé qu'il y a du désavantage à les prendre trop grands, par exemple, allant jusqu'à 100 mètres dans des terres de consistance moyenne, car alors la distribution de l'eau tend à devenir inégale et exige, dans tous les cas, plus de surveillance et de main-d'œuvre que pour des dimensions beaucoup moindres.

Les sections des rigoles varient avec la longueur et la largeur des billons. Dans la Campine, le maximum d'étendue de ceux-ci avait été porté d'abord à 120 mètres de longueur sur 20 mètres de largeur totale, ou 10 pour chaque aile. Dans ce cas, la rigole d'alimentation avait à l'origine $0^m,30$ de largeur au plafond et $0^m,15$ à l'extrémité, tandis que les rigoles d'écoulement avaient $0^m,30$ à l'origine et $0^m,60$ à l'extrémité, ce qui leur donnait l'apparence de véritables fossés.

Mais on doit dire que cette longueur des billons, même en pays très-plat, est fort exceptionnelle. Aussi les ingénieurs de la Campine y ont-ils bientôt renoncé et s'en sont tenus à la longueur de 40 mètres environ comme maximum.

Dans ces dernières conditions, qui sont très-usuelles, les largeurs moyennes des rigoles alimentaires sont de $0^m,20$, et celles des rigoles d'écoulement de $0^m,30$. Les talus de ces rigoles sont d'ailleurs calculés à raison de $1\frac{1}{2}$ pour 1, ce qui tient à ce qu'elles sont ouvertes entièrement dans un sable très-mobile; mais dans les terrains ordinaires on leur donne bien peu d'inclinaison, ce qui est toujours praticable, vu leur faible profondeur.

### DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'IRRIGATION DE LA MOSELLE.

Depuis plusieurs années les irrigations ont pris dans la vallée de la Moselle, en aval d'Epinal, un développement très-considérable; elles ont transformé en prairies plus de 800 hectares de graviers stériles, et elles sont loin d'avoir atteint leurs limites. C'est une des plus belles applications d'un mode d'irrigation qui a été rarement pratiqué jusqu'à ce jour. Ces travaux prouvent d'une manière évidente combien les irrigations sont un moyen certain, facile et économique de fixer le lit d'une rivière à fond mobile. Tandis que dans tant de localités on exécute ou on propose d'exécuter des digues très-dispendieuses, et dont le résultat peut être complétement détruit par les exhaussements successifs du lit, on pourrait, par des irrigations productives, former un lit mineur fixe et qui ne s'exhausserait plus. En rendant en outre submersibles les grands canaux d'irrigation, on préserverait en même temps des inondations les localités habitées, tout en laissant un large lit aux grandes eaux.

Nous avons déjà fait remarquer qu'il existe trois systèmes prinpaux d'irrigation, qui ne sont pas indifféremment applicables. Si

l'on observe avec soin les circonstances particulières des différentes prairies, on se rendra parfaitement compte des motifs pratiques qui ont déterminé l'adoption de tel ou tel mode et qui font que dans certains cas, en apparence analogues, le succès est très-différent.

Le premier système, qui a été particulièrement étudié par M. Nadault de Buffon, est celui suivi dans les grandes irrigations du midi de la France et du nord de l'Italie. Le but unique que l'eau doit remplir, c'est d'entretenir l'humidité du sol, surtout pendant les sécheresses de l'été; c'est un arrosage proprement dit; la pureté de l'eau, l'abondance et la nature des matières en suspension sont tout à fait secondaires. Mais il est indispensable que le sol soit de bonne nature, que la terre végétale soit assez épaisse, sinon il faut avoir recours à des engrais, car ce genre d'irrigation appauvrit le sol, et cela d'autant plus que la quantité d'eau livrée est plus abondante et que l'eau est plus pure.

Le second système est suivi dans les terrains calcaires du département des Vosges; c'est celui qu'on rencontre le plus fréquemment en France, surtout dans le Nord. Il convient particulièrement aux vallées dont les cours d'eau ont très-peu de pente et dont les eaux moyennes sont pures, acides ou chargées de substances peu convenables pour les prairies. Naturellement ou par des moyens artificiels qui varient suivant la disposition des localités, les eaux débordent sur les prairies en hiver, au dégel, dans tous les moments enfin où elles sont chargées de terre végétale enlevée sur d'autres points. Il se dépose alors un léger limon très-favorable à la végétation et qui compense la déperdition du sol. Pendant l'été les irrigations sont suspendues, on se contente d'entretenir l'humidité des prairies en maintenant les eaux à un niveau aussi élevé que possible dans les canaux et les cours d'eau. Si cependant la forme et les pentes du sol le permettent, on peut avoir recours, pendant les sécheresses, au premier système d'irrigation.

On voit que ce second mode est une espèce de colmatage dont l'Egypte présente la plus vaste application ; à cette différence toutefois que nos cours d'eau calcaires n'arrosent ordinairement que des prairies, tandis que le Nil fertilise les champs aussi bien que les prairies.

Dans le troisième système, l'eau non-seulement entretient la fraîcheur du sol, mais elle agit surtout, parce qu'elle amène continuellement et en tout temps un limon très-fin, mais extrêmement fertile. Les eaux, en été, sont parfaitement pures en apparence; mais en examinant avec soin le sol on voit toujours un petit dépôt qui, sur des cailloux, se lève dans l'origine en croûtes minces, d'une couleur bistre foncée, et qui ne se brisent pas immédiatement sous les doigts. Dans ce mode-là, la nature du sol est à peu près indifférente. On voit même les irrigations réussir plus facilement sur des cailloux dépourvus de terre végétale que sur les points où il y a déjà un commencement de végétation. Ce qui importe avant tout, c'est la nature des eaux, et surtout celle du limon qu'elles tiennent en suspension. Jusqu'à une certaine limite, plus il y a d'eau, plus il y a de limon, et meilleures sont les prairies. Pendant l'été seulement il

convient de réduire ou de supprimer les irrigations suivant l'état de la végétation des prairies et dans l'intérêt des récoltes. Ce système ne peut convenir aux eaux calcaires du bassin de la Seine, et encore moins aux eaux ferrugino-calcaires des Landes; mais il est surtout applicable dans les vallées dont les eaux proviennent des montagnes granitiques couvertes de forêts et dont la pente est assez forte pour qu'on puisse établir des dérivations très-rapprochées. Il existe actuellement sur les deux versants de la chaîne des Vosges et de la forêt Noire, et dans certaines parties de la Suisse.

Les cours d'eau qui proviennent des montagnes de l'Auvergne, des Alpes, des Pyrénées, doivent donner lieu à de belles applications de ce système.

Ce qui distingue ces irrigations, c'est qu'elles réunissent d'abord les avantages des deux premiers modes; elles permettent l'arrosage des prairies pendant les sécheresses, et elles produisent en tout temps un colmatage énergique et dont on est maître de disposer. C'est surtout sur les mauvais terrains qu'il y a lieu de les appliquer, parce qu'elles produisent en très-peu de temps une révolution complète, surtout lorsque ces terrains sont très-perméables.

Les travaux exécutés depuis quelques années le long de la Moselle, et que nous allons décrire, sont un des plus beaux exemples de ce système.

**Irrigations de la Moselle.** — Le cours de la Moselle, dans le département des Vosges, peut être divisé en deux parties bien distinctes : du sommet de la chaîne des Vosges jusqu'à Epinal, et de cette ville à la limite du département. Dans la première partie, cette rivière est encaissée entre des prairies bien arrosées, et son régime est très-régulier. En aval d'Épinal, au contraire, le lit de cette rivière est très-large; il est formé d'une vaste plaine de graviers continuellement déchirée par un grand nombre de bras. Ces bancs de graviers changent continuellement de forme. Le sol est composé de cailloux purs dont la dimension excède rarement $0^m,12$ à $0^m,15$. Il est quelquefois recouvert de quelques symptômes de végétation, où les troupeaux des communes environnantes trouvent de misérables pâturages.

En 1823, les frères Dutac eurent l'idée de transformer ces terrains en prairies, au moyen de prises d'eau établies dans la rivière.

Dès cette époque, ils commencèrent à lever les plans nécessaires et à tracer la disposition approximative du système d'irrigation. Mais comme les communes sont propriétaires des terrains, les acquisitions entraînèrent beaucoup de retard, soit à cause des lenteurs administratives, soit à cause du mauvais vouloir des communes. Aussi ce ne fut qu'en 1827 qu'ils achetèrent le petit territoire de la Gosse, de 20 hectares, situé immédiatement en aval d'Epinal. Ce premier essai ayant parfaitement réussi, ils purent, à l'aide de compagnies successivement formées, commencer les travaux sur une plus grande échelle.

MM. Naville, de Genève, ont acheté toutes les actions des compagnies antérieures, de sorte qu'ils sont, avec les frères Dutac, les seuls propriétaires des prairies arrosées depuis Epinal jusqu'à la limite

du département de la Meurthe. Il faut cependant en excepter 90 hectares de terrains communaux arrosés par deux prises d'eau et qui sont loués pour trente ans par deux compagnies dont les intérêts sont tout à fait distincts.

**Marche des travaux.** — Les frères Dutac ont suivi dans leurs travaux la marche suivante : la superficie totale a été divisée en bassins, c'est-à-dire en surfaces, situées ordinairement sur la même rive et susceptibles, par la conformation générale du sol et par la division des propriétés, d'être arrosées par la même prise d'eau. En tête de ces bassins, ils ont construit assez grossièrement des barrages qui servent à dériver les eaux dans un canal de 8 à 10 mètres de largeur et dont la section d'eau moyenne varie, d'un bassin à l'autre, environ de 5 à 12 mètres, suivant l'étendue des terrains à arroser. Ces canaux se maintiennent en ligne droite et de niveau aussi longtemps que possible. L'eau n'a qu'une pente superficielle nécessaire pour produire l'écoulement et variable avec le nombre des petites prises d'eau. Lorsque le sol général s'abaisse considérablement, le grand canal se trouve fermé par un barrage en terre, et une ou plusieurs vannes de fond transmettent les eaux soit à la continuation du grand canal, soit à des canaux d'amenée de seconde importance. Les petites prises d'eau, en nombre illimité, dérivent l'eau, soit directement du grand canal, soit des canaux secondaires, et arrosent alors toute la superficie du sol. Suivant les hauteurs relatives de ces canaux, les prises d'eau ont lieu par la surface ou par des vannes de fond. Les eaux, après avoir parcouru tout le terrain, sont ramenées dans la rivière par un système de rigoles de décharge complémentaire.

Lorsque le sol est de niveau, qu'il se trouve des champs déjà tout préparés, on adopte l'irrigation par ados ou billons ; mais il faut éviter, comme nous l'avons déjà dit, de leur donner trop de longueur, parce que, si les rigoles d'amenée ne présentent pas une pente suffisante, le limon ne se dépose pas également. Toutes les fois qu'on le peut, on obtient une grande économie de main-d'œuvre et un résultat au moins aussi satisfaisant en conservant à peu près les ondulations que la rivière avait données aux graviers. Les tracés des différents canaux sont alors très-sinueux, et on utilise les anciens bras de rivière pour en former de grands déchargeoirs. Le sol est, dans ce cas, divisé en talus de forme gauche et irrégulière, dont les lignes de plus grande pente ont environ 5 pour 100 d'inclinaison. Si les talus ont plus de 30 ou 40 mètres de longueur, on les interrompt par des lignes à peu près horizontales, comme dans le système d'irrigation par pente. Du reste, la composition primitive du sol permet de réduire, suivant les besoins, l'inclinaison des talus ou des ados sans qu'il en résulte d'inconvénients. Jamais il ne se produit de plantes marécageuses.

Quant à la rivière, on en a réuni toutes les eaux dans un seul bras, dont les contours sont fort adoucis et dont les rives présentent une pente très-faible, qui n'excède pas 10 à 15 pour 100. Une fois que ces bords sont gazonnés, les eaux les submergent sans les attaquer. Aussi n'est-on obligé d'avoir recours à des enrochements de

défense que sur un petit nombre de points, excepté toutefois pour la clôture des bras secondaires.

Dès que le terrain est convenablement disposé, on fait arriver les eaux, après avoir semé sur toute la surface de la graine de foin. Un léger dépôt de limon se forme lentement. Un an ou dix mois après, ces prairies commencent à donner des fourrages, et au bout de la troisième année elles sont en plein rapport. Il y a quelques précautions cependant à prendre dans l'irrigation à son origine. Si l'eau arrive en trop grande abondance, elle emporte la graine de foin et détruit la végétation déjà formée; si, d'un autre côté, on n'arrose pas assez, il suffit d'une heure ou deux de soleil pour brûler ces nouvelles plantes si délicates. Il faut choisir un juste milieu; mais, autant que possible, il vaut mieux semer la graine au printemps ou en automne, par un temps déjà humide; puis on maintient en outre un peu d'eau sur le sol, et à mesure que la végétation se développe, que les racines se forment, on augmente l'irrigation. La plus grande difficulté, celle qui exige le plus d'habitude de la part du directeur des travaux, c'est la disposition générale du sol. Des nivellements faits avec soin sont d'un grand secours sans doute, mais il faut en outre un certain tact, un certain coup d'œil qui ne s'acquiert pas toujours par l'expérience, et que les frères Dutac ont à un point éminent.

Au bout de deux ans, lorsqu'il s'est formé sur la prairie une couche suffisante de terre végétale, on réduit les irrigations au moment où la végétation est la plus forte, pour éviter que l'herbe ne se couche, qu'elle ne soit pas ensuite détériorée par le limon, ce qui la ferait pourrir et ce qui produirait plus tard de la poussière dans le foin. On cesse même toute espèce d'irrigation pendant les dix ou quinze derniers jours pour sécher le sol et les plantes et faciliter la maturité des grains. De sorte que, en y comprenant le temps nécessaire pour l'enlèvement des récoltes, l'irrigation est interrompue pendant un mois pour chaque coupe.

On compte que 1 hectare de ces prairies, une fois en plein rapport, produit 5000 kilogrammes de foin et 2500 kilogrammes de regain.

Le prix moyen des terrassements, en y comprenant l'ensemble des canaux, varie de 600 à 1200 francs par hectare, suivant la disposition des lieux, suivant le nombre des bras de rivière à couper et les difficultés du redressement du lit. Quant aux transactions pour l'acquisition des terrains, elles diffèrent d'une commune à l'autre. Tantôt les terrains ont été achetés, tantôt ils sont loués pour un certain laps de temps (généralement trente ans); tantôt, enfin, ils doivent être partagés, suivant une certaine proportion, entre les communes et les irrigateurs.

Ces contrats deviennent de plus en plus onéreux pour ces derniers à mesure qu'on voit le résultat de ces travaux, et, en pareil cas, il serait préférable de faire des sacrifices avant le commencement des opérations, pour passer immédiatement tous les marchés. Mais l'abolition du libre parcours sur ces misérables pâturages est toujours la grande difficulté pour ces transactions.

**Jaugeage.** — Un inconvénient grave de ce système est l'énorme quantité d'eau qu'il exige; aussi ne peut-on l'appliquer sur de grandes échelles que dans les vallées, comme celles de la Moselle, dont la pente est assez forte pour pouvoir établir des dérivations successives qui utilisent de nouveau les eaux de décharge. Lorsqu'on est forcé d'arroser directement avec les canaux colateurs, le résultat est bien moins avantageux, parce que les eaux qui s'en écoulent sont privées de limon, tandis que lorsqu'elles rentrent dans leur lit naturel, elles se réunissent à celles qui n'ont pas été dérivées et deviennent plus riches en limon que celles des colateurs; cela est d'autant plus vrai, que les irrigations absorbent une moindre partie de la rivière, comme cela a lieu généralement sur la Moselle.

Le nombre de litres nécessaires par seconde pour arroser avec colmatage 1 hectare de prairies dans le terrain graveleux de la Moselle, est de 100 litres par seconde, quantité qui diffère énormément de 1 ou 2 litres généralement admis par les ingénieurs dans les grandes irrigations de l'Italie et du midi de la France. Si on adopte une, deux, trois ou quatre périodes d'arrosage, la quantité d'eau se réduit de 100 à 50, à 33, et enfin à 25 litres par seconde. Mais lorsque la couche de terre végétale est peu considérable, que le sol au-dessous est sablonneux, il n'est pas prudent d'admettre plus de quatre périodes dans une bonne irrigation, parce que, sans cela, un ou deux jours de fortes chaleurs suffisent pour sécher la portion de prairies non arrosée et pour compromettre par suite considérablement la récolte.

Lorsqu'on a opéré les jaugeages, les eaux de la Moselle étaient assez fortes pour que l'irrigation fût normale, et les vannes de prise d'eau étaient baissées convenablement pour réduire la quantité d'eau au volume reconnu nécessaire par l'expérience.

La prairie de la Gosse, établie par les frères Dutac en 1828, était arrosée par un canal dont la section moyenne était de $4^{mq}54$, et la vitesse moyenne de $0^{m},50$, ce qui a donné pour la portée $2^{mcub}27$ par seconde. Cette quantité d'eau arrosait sans intermittence 19 hectares; on avait donc par hectare 120 litres par seconde.

La prise d'eau des trois communes, située au-dessous et qui arrosait alors 40 hectares de nouvelle formation, avait pour section moyenne $6^{mq}50$, pour vitesse moyenne $0^{m},50$; la portée était donc de $3^{mcub}84$, soit 96 litres par hectare. L'arrosement était aussi sans intermittence. A l'extrémité du grand canal se trouvait une source de fond alimentant 20 hectares; en jaugeant son produit, on a trouvé $Q = 1^{mcub}586$, ce qui donne 79 litres par seconde. Au moment de l'opération, le jaugeage n'était que de 75 litres; mais le garde, qui, depuis plus de vingt ans, dirige et surveille ces irrigations, a dit que la charge sur la vanne n'était pas assez forte; qu'il fallait, pour une irrigation convenable, l'augmenter de $0^{m},15$ au moins, ce qui, comme nous venons de le dire, donnait un débit constant de 79 litres par seconde.

La prairie de Thaon renferme 200 hectares de prairies établies depuis quatorze à dix-huit ans. Comme il y a deux périodes, la prise d'eau qui se trouve sous le village de Chavelot n'arrosait, au mo-

ment de l'opération, que 100 hectares. Le canal a pour section 12mq24, pour vitesse moyenne 1m,06 ; ce qui donne pour la portée totale 12mcub97. Chaque hectare arrosé recevait donc 130 litres par seconde, soit 65 litres par seconde pour toute la surface de la prairie.

Pour ne pas se baser uniquement sur les prairies créées en aval d'Epinal, on peut puiser des renseignements sur les irrigations du même système établies dans l'arrondissement de Remiremont, qui est, sans contredit, un des plus intéressants de la France sous ce rapport. Jusqu'aux sommets des montagnes, on voit utiliser les eaux avec art et avec le plus grand soin.

Les prairies du pré Broquin, situées au-dessus de Remiremont, et qui font l'objet d'une note de l'ouvrage de M. Nadault de Buffon, reçoivent par une dérivation de la Moselle 70 litres par seconde et par hectare.

En 1767, la ville de Remiremont a concédé les eaux qui s'échappaient du canal de faîte du moulin communal, pour transformer en prairies des terrains à peu près sans valeur, en suivant le système adopté postérieurement par les frères Dutac. Le partage des eaux de ces prairies, dites du Grand-Pont, a été réglementé par un jugement du tribunal; il est régulier et surveillé par un garde spécial. Il est basé sur une portée du canal de 3mcub60 ; mais d'après une vérification minutieuse, cette portée n'est que de 3 mètres cubes. Pour 60 hectares, on aurait donc 50 litres par seconde ; mais lors du partage on n'a pas trouvé cette quantité suffisante, on a préféré avoir recours à deux périodes pour allouer tout à la fois 100 litres par seconde et par hectare.

Ces résultats varient entre 70 et 130 litres, mais cette différence n'a rien de surprenant lorsqu'on remarque qu'ils ne sont donnés que par les vagues appréciations de l'expérience et du coup d'œil.

Il n'y a rien de précis, d'arrêté. Ni les frères Dutac, ni les gardes chargés de distribuer l'eau dans les différentes prises d'eau, ne se sont occupés du jaugeage. Ils ont seulement reconnu approximativement quelle était la quantité qu'il convenait d'allouer, et chose remarquable, leur expérience s'accorde fort bien avec celles des irrigations faites à Remiremont dans des circonstances analogues, mais sur des terrains depuis longtemps transformés en prairies ; ce qui prouve que la quantité d'eau nécessaire ne diminuera pas par la suite. De plus, les prairies du Thaon, qui étaient arrosées par 130 litres, étaient soumises à une irrigation à deux périodes ; on comprend alors que la quantité d'eau jugée nécessaire doit être plus considérable toutes les fois que l'état de la rivière le permet, d'autant plus que ces prairies ont une superficie de 200 hectares, arrosée par la même prise d'eau ; c'est un maximum pour la Moselle, que l'expérience a prouvé qu'il ne fallait pas atteindre. D'après des jaugeages faits à Epinal, l'étiage de la Moselle approche de 10 à 12 mètres cubes. Si l'on tient compte des pertes énormes occasionnées par la mauvaise construction du barrage des prairies du Thaon, il ne doit arriver alors dans le canal que 5 à 6 mètres cubes par seconde ; c'est pour cela que pour ce bassin, les propriétaires sont

obligés d'adopter plus de deux périodes et doivent utiliser directement les canaux colateurs.

En résumé, d'après les résultats cités ci-dessus et d'après les différents renseignements que nous avons recueillis, nous pensons que pour une irrigation du troisième système sur un sol graveleux, on doit tâcher d'obtenir 100 litres par seconde et par hectare, et si les circonstances obligent à se restreindre, on pourra adopter deux périodes, ce qui réduit de moitié le cube de l'eau nécessaire pour toute la surface. Mais au-dessous de 40 ou 50 litres, on serait forcé d'augmenter le nombre des périodes et l'irrigation serait peut-être encore possible, mais le résultat ne serait pas aussi satisfaisant.

Toutefois, ces chiffres ne sont pas donnés d'une manière irrévocable; ce sont seulement des données qu'il peut être utile de connaître dans des circonstances analogues. Si, par exemple, le sol est plus compacte, si dans ce sol moins perméable, les plantes peuvent avoir des racines assez profondes pour qu'elles souffrent moins des sécheresses, alors, pour ces deux motifs, la quantité d'eau pourra être restreinte, parce que l'absorption par le sol sera moins grande, et les périodes pourront être portées à trois ou quatre sans inconvénients. Mais aussi, il faut remarquer que le limon déposé sera beaucoup moins considérable, et la végétation moins belle, surtout si l'on maintient cette diminution même pendant les fortes eaux, qui contiennent plus de limon. Cette quantité d'eau dérivée est loin, du reste, d'être perdue pour le cours d'eau; la majeure partie rentre dans le lit par les canaux de décharge; une autre partie rejoint directement la nappe d'eau souterraine, qui, dans les rivières à sol graveleux, suit à peu près leurs variations de niveau; une troisième partie est absorbée par les plantes, elle doit peu varier avec la quantité d'eau; enfin, la dernière est enlevée par l'évaporation. Observons encore que l'influence de l'évaporation diminue lorsque le volume d'eau augmente, parce que la température du sol est abaissée en conséquence. Le limon est d'abord arrêté par les plantes, il se dépose en outre sur le sol comme sur un filtre. Dans l'origine, la quantité d'eau filtrée sur les cailloux est très-considérable, la couche de terre végétale augmente alors rapidement. Plus tard, le sol devenant moins perméable, ce sont les eaux qui coulent à la surface du sol qui augmentent; mais alors la quantité de limon déposée diminue, parce que les eaux de décharge ne sont pas aussi pures que celles qui ont été filtrées. C'est pour cela qu'au bout de peu d'années, puisque le volume d'eau reste constant, le sol ne s'exhausse plus sensiblement. Le dépôt annuel de limon ne fait que compenser les pertes dues à la végétation. Du reste, nous avons la conviction que la quantité d'eau absorbée par l'irrigation est moindre que celle qui est enlevée par l'évaporation, lorsqu'une rivière coule par plusieurs bras sur des graviers brûlés par le soleil.

**Nature des eaux d'irrigation.** — Une considération encore plus importante que celle du volume, c'est la qualité de l'eau, la quantité et la nature du limon en suspension. C'est une étude toute nouvelle à faire avec l'aide de la chimie, et que nous regardons comme importante, mais qui, dans tous les cas, serait fort intéres-

sante. Du reste, l'expérience des agriculteurs peut déjà fournir des données assez précises.

Ainsi dans les Vosges, lorsque les eaux sont pures, qu'elles sortent immédiatement des terrains de grès des Vosges ou de grès bigarré, les paysans répandent en automne, sur leurs prairies, des engrais solides qu'ils enlèvent au printemps, lorsque les pluies et les neiges ont transmis au sol leurs principes fertilisants. Certainement ce principe est très-défectueux, il vaudrait mieux employer des engrais liquides recueillis avec un soin minutieux; mais cela prouve que les agriculteurs jugent bientôt des défauts et des qualités de l'eau employée.

Si les eaux contiennent des principes acides, si elles sortent de terrains tourbeux et ferrugineux, comme sur les plateaux élevés situés entre Epinal et Plombières, alors les paysans vont chercher à grands frais dans les départements du Haut-Rhin, de la Meurthe et de la Moselle, des cendres lessivées qui, pendant trois ans, ont la propriété de changer complétement leurs prairies, primitivement couvertes de joncs et de plantes marécageuses. On voit quelquefois cent voitures par jour suivre péniblement les routes en transportant cet amendement précieux.

Il convient d'éviter aussi l'emploi des eaux qui sortent des lacs ou des grands réservoirs où le limon se dépose, comme le prouve l'exemple de la Vologne, un des trois principaux affluents de la Moselle. Cette rivière, formée d'un ruisseau qui traverse successivement deux lacs et d'un émissaire du lac de Gérardmer, ne donne lieu, à son origine, qu'à des irrigations bien inférieures à celles de la Moselle. Ce n'est qu'en s'eloignant de ces lacs, en recevant d'autres ruisseaux chargés de principes fertilisants, que les irrigations s'améliorent.

On voit par ces exemples, que pour appliquer le système d'irrigation de la vallée de la Moselle, la nature de l'eau est aussi importante à considérer que son volume. Ainsi, par exemple, on n'obtiendrait pas un meilleur résultat si, voulant transformer en prairies les sables du département des Landes, on se servait d'abondantes dérivations des cours d'eau ferrugino-calcaires du pays, que si on amenait à grands frais des eaux des vallées des Pyrénées, à raison de 1 ou 2 litres par seconde. Les cours d'eau des Landes peuvent arroser avec 1 litre par hectare les plaines de la Garonne contenant une énorme couche de terre végétale, et d'un autre côté, les eaux des Pyrénées peuvent indifféremment transformer en prairies, par des irrigations abondantes, les graviers des gaves ou arroser les plaines fertiles qui précèdent Toulouse. Nous remarquerons seulement en passant que, dans cette dernière hypothèse, les irrigations seront préférables quand on alimentera le canal de Saint-Martory directement par la rigole de Sarrancolin, que quand on sera forcé d'avoir recours aux réservoirs de Lannemezan.

Il reste encore beaucoup à faire en France, sous le rapport des irrigations; mais malheureusement on en parle plus qu'on n'en fait; cependant il convient d'observer qu'il y a moins à faire qu'on ne le croit généralement. L'immense majorité de la surface du sol a été

appauvrie de longue date, par suite de la gêne des cultivateurs. La couche de terre végétale est très-pauvre, peu fertile et manque complétement d'engrais. On conçoit alors que, si on appliquait à cette nature de terrain le système d'irrigation d'Italie, il se pourrait fort bien qu'on obtînt un résultat qui ne serait pas en rapport avec la dépense. Il vaudrait beaucoup mieux cultiver plus de prairies artificielles, et employer plus judicieusement et avec une économie minutieuse les engrais liquides gaspillés jusqu'à présent. Cela permettrait bientôt de supprimer les jachères et cela rétablirait à la longue la fertilité du sol.

Quant au second système, celui par colmatage, il a pris à peu près tout le développement dont il est susceptible. On a déjà transformé en prairies presque tous les terrains qui se trouvent submergés par les crues des cours d'eau à peu de pente. Si on voulait augmenter la surface du colmatage d'hiver par des barrages, on recouvrirait des terrains dont l'humidité serait difficilement entretenue pendant l'été. Le peu de pente des vallées à terrain calcaire, où ce système est surtout applicable, le défaut de curage de ces cours d'eau, la difficulté de leur entretien par suite des dépôts vaseux, seront toujours un grand obstacle à une irrigation régulière, surtout avec des terres fortes.

Quant au troisième système, analogue à celui de la Moselle, il faut, comme nous l'avons vu, beaucoup d'eau et de l'eau de bonne qualité; on conçoit que cela restreint immédiatement son application. Mais toutes les fois qu'il sera possible, on ne saurait trop l'encourager. L'aspect du pays est métamorphosé en peu d'années. Au lieu d'un cours d'eau continuellement vagabond sur des graviers incultes, on ne tarde pas à voir une rivière bien encaissée, coulant paisiblement au milieu de riches prairies.

## DE LA CONCILIATION DE L'EXISTENCE D'UN GRAND NOMBRE D'USINES HYDRAULIQUES AVEC L'ASSÉCHEMENT DES PLAINES ET AVEC LES IRRIGATIONS.

Lorsqu'un cours d'eau dont la pente générale est peu forte fait mouvoir un certain nombre d'usines, on remarque que, le plus souvent, le foin des prairies est de mauvaise qualité, et que la plus grande partie de ces prairies se trouve dans un état marécageux.

On ne voit ordinairement d'autre moyen, pour remédier à cet état de choses, que de détruire les moulins ou d'abaisser considérablement leur tenue d'eau; or, un pareil remède n'est pas applicable. En effet, les possesseurs d'usines ont droit à des indemnités si on les trouble dans leur jouissance, et les propriétaires des prairies riveraines seraient loin de se mettre tous d'accord sur l'avantage d'un abaissement du plan des eaux; les uns, dont le terrain est dans une situation plus élevée et plus saine, objecteraient que leur terrain cesserait de produire de l'herbe, si l'on cessait d'humecter les racines des plantes; d'autres, en reconnaissant que l'abaissement de l'eau améliorerait la qualité de leur foin, allégueraient qu'il en

diminuerait la quantité; d'autres enfin observeraient que cet abaissement, à moins d'être fort considérable, et, par conséquent extrêmement coûteux à opérer, serait à peu près inefficace.

Les difficultés pour sortir d'un état de choses aussi déplorable ne sont pas, comme on le voit, purement administratives; elles tiennent aussi à des questions d'hydraulique et d'art. Ce sont ces questions que nous nous proposons d'examiner.

Nous rechercherons donc successivement :

1°. Jusqu'à quel point la fixation, faite ordinairement par les soins de l'Administration, d'une certaine différence de niveau entre le plan d'eau de la tenue d'un bief et la surface de la prairie contiguë, suffit pour assurer l'asséchement et l'assainissement de cette prairie;

2°. Quel système il conviendrait d'adopter pour rendre cet asséchement et cet assainissement plus certains;

3°. Comment on peut conserver les usines existantes, en établir même de nouvelles avec des tenues d'eau quelconques, même supérieures au niveau des terrains environnants, de manière à utiliser comme force motrice presque toute la pente des eaux sans nuire aucunement à l'asséchement de la plaine;

4°. Comment on peut, avec ce même système, concilier facilement l'assainissement complet des prairies avec l'abondance de leur produit en herbe;

5°. Enfin comment on peut en tirer les moyens d'opérer, dans certaines limites, des irrigations abondantes sans nuire au roulement des usines.

**1°. Effet de la réglementation ordinaire du niveau des tenues d'eau comparativement aux rives.**— L'Administration, dans ses autorisations d'établissement ou de maintien d'usines, a l'habitude de fixer le niveau de leur tenue d'eau à 20 centimètres environ en contrebas des terrains formant les rives du ruisseau ou de la rivière qui les alimente.

Cette réglementation suffirait à l'asséchement de la plaine si le niveau de celle-ci était partout au moins aussi élevé que celui des bords de son cours d'eau; si sa nappe d'eau souterraine offrait partout une coupe transversale horizontale; enfin s'il suffisait toujours d'une couche de terrain de 20 centimètres au-dessus de cette nappe pour n'avoir, dans une prairie, que des herbes de bonne qualité et aucun des caractères et des inconvénients du marécage.

Mais malheureusement il n'en est presque jamais ainsi.

Les bords d'un cours d'eau ne sont pas en général la partie la plus basse de la plaine qu'il sillonne. Ils sont, au contraire, ordinairement plus élevés que tout le reste, ce qui tient, comme l'on sait, aux alluvions qui s'y déposent, pendant les crues, en plus grande quantité qu'ailleurs. Il en résulte que si les eaux soulevées par les ouvrages d'un moulin coulent à peu près à pleins bords, les parties de la plaine éloignées des bords seront infailliblement marécageuses, surtout les prairies au pied des coteaux, qui sont ordinairement les plus déprimées.

En second lieu, la nappe d'eau qui règne sous la plaine ne saurait être de niveau dans le sens transversal. Comme la pente en longueur

est supposée faible, il faut de toute nécessité que cette nappe s'incline transversalement vers le ruisseau pour que les eaux venant soit du zénith, soit des coteaux environnants et du sous-sol, puissent s'écouler entre deux terres vers le ruisseau qui est supposé leur émissaire unique.

Toutes les portions de terrain situées au-dessous de deux plans plus ou moins inclinés s'élevant de part et d'autre à partir de l'eau relevée du ruisseau, seront donc sans écoulement, et par suite habituellement inondées ou à l'état de marais.

En troisième lieu, une couche de 20 centimètres de sol asséché portant sur un sous-sol détrempé par une nappe d'eau ne suffit pas partout pour nourrir les bonnes herbes à l'exclusion des mauvaises. Beaucoup de prés de la Sologne, dans des endroits où la nappe d'eau est plus basse par rapport à la surface, ne produisent que des joncs, et l'eau cachée, qui ne se dissipe que par l'échauffement du sol en été, engendre des émanations insalubres, presque comme si elle était à découvert.

On ne doit donc pas s'étonner de l'état marécageux de vallées où un cours d'eau est barré de distance en distance par des usines en amont desquelles l'eau ne s'élève pourtant qu'au niveau de réglementation administrative par rapport à ses rives.

Et l'on voit qu'il ne suffit pas de régler des usines comme à l'ordinaire, c'est-à-dire d'abaisser leur tenue d'eau à 20 centimètres au-dessous des bords les plus déprimés, pour faire cesser cet état fâcheux dans les vallées qui l'offrent et où le règlement d'eau n'a pas encore eu lieu.

On n'atteindrait pas le but par un abaissement plus fort en fixant, par exemple, la différence minimum du niveau entre l'eau et les rives à 50 centimètres au lieu de 20, car quand même on la porterait plus haut encore, ce qui équivaudrait à supprimer un grand nombre d'usines, les deux plans de nappe d'eau souterraine, plus ou moins inclinés, suivant la compacité et la force capillaire du sol et du sous-sol, pourraient toujours s'élever au-dessus d'une partie des terrains de la vallée, et ces terrains seraient toujours marécageux.

C'est ce qui se voit dans les vallées même où il n'y a pas d'usines, et où un curage soigné du cours d'eau tient le plan d'eau visible beaucoup plus bas que les rives et même que toute la plaine, et où cependant certaines parties ne laissent pas d'être empoisonnées de laiches et de joncs, et de faire entendre sous les pieds ce bruit qui annonce une nappe d'eau presque à fleur du sol.

**2°. Moyen de rendre l'assèchement et l'assainissement d'une plaine plus certains et plus complets que par la réglementation du niveau des biefs de l'émissaire principal de ses eaux.** — Il faut recourir à un autre moyen d'asséchement ; or ce moyen est tout trouvé. Depuis longtemps on l'emploie pour dessécher les marais ou pour assainir des terres humides : il s'agit simplement de creuser, afin de recevoir les eaux de la plaine, quelques fossés d'une faible largeur, mais suffisamment profonds pour faire baisser la nappe d'eau souterraine,

et de conduire en aval, dans l'émissaire principal, l'eau qui s'y rendra et qui est généralement peu abondante.

Je suppose, par exemple, que le cours d'eau naturel coule à pleins bords, mais sans déborder habituellement. Que l'on creuse de chaque côté, à une distance de quelques mètres, un contre-fossé d'un mètre de profondeur, suffisamment prolongé en aval pour que ce qu'il recevra ait un débouché facile dans le même cours d'eau. La nappe d'eau régnant sous la plaine s'abaissera nécessairement. Au lieu de partir, comme auparavant, de la ligne d'eau du ruisseau, ou à peu près de ses bords, elle partira d'une ligne à 1 ou 2 décimètres au-dessus du fond du fossé creusé, c'est-à-dire d'une ligne à 80 ou 90 centimètres au-dessous des mêmes bords. Cet abaissement de la nappe suffira ordinairement pour produire un assainissement complet.

Que s'il n'assèche pas certaines parties éloignées des bords, si, par exemple, la partie de prairie qui se trouve au pied du coteau ou à la séparation des cultures est toujours noyée, un autre fossé creusé en cet endroit et communiquant, soit avec le premier, soit directement plus en aval avec le cours d'eau lui-même, suffira pour évacuer les eaux pluviales et les eaux de suintement, ou, comme on dit, de fausses sources qui maintenaient l'état de mouillage, et la plaine tout entière se trouvera assainie.

On n'a pas besoin d'ajouter que le contre-fossé creusé proche du cours d'eau pourra être tracé avec moins de sinuosités que celui-ci, et que la terre qu'on en tirera pourra servir à faire entre eux une petite levée submersible et gazonnée, préservant la prairie des crues nuisibles de l'été, sans la soustraire aux inondations hivernales qui sont ordinairement améliorantes.

On peut évidemment par ce moyen, sans rien changer au niveau naturel ou relevé du cours d'eau principal, et en multipliant au besoin les tranchées d'égout, assainir toute plaine humide et marécageuse. C'est à quoi l'on ne parviendrait généralement pas, nous le répétons, en abaissant le plan d'eau naturel ou artificiel du cours d'eau principal : car il faudrait, avons-nous dit, que l'abaissement fût extrêmement considérable, pour produire sur la nappe d'eau le même effet que les deux contre-fossés latéraux proposés, et il ne dispenserait toujours pas de l'ouverture des fossés éloignés des bords dans les cas où, comme nous le disons, les deux contre-fossés ne suffisent pas.

Il est bien entendu, au reste, que pour diminuer les terrassements, et pour ne perdre aucune portion de terrain, rien n'empêche de substituer à l'établissement de fossés évasés restant ouverts le creusement de tranchées étroites, au fond desquelles on place des tuyaux de terre cuite ou d'autres conduits que l'on recouvre en remplissant les tranchées après qu'ils sont posés, comme lorsqu'il s'agit de drainer les terres cultivables humides. Un calcul des quantités d'eau et des dépenses comparatives apprendra facilement quel est le meilleur parti à prendre dans chaque cas.

**2°. Conservation et multiplication des chutes d'eau.** — Puisque par le procédé d'assèchement dont nous venons de par-

ler, consistant principalement dans l'ouverture de deux contre-fossés d'égout latéraux, on n'a nul besoin de toucher aux eaux du cours d'eau principal, l'usage de ce procédé permet évidemment de conserver sans modification toutes les usines qui peuvent exister sur ce cours d'eau, et même d'en établir de nouvelles, ainsi que des retenues pour irrigations, en tel nombre qu'on veut, de manière à tirer parti de toute la pente des eaux depuis l'origine de la vallée jusqu'à son issue. On c'est là un avantage précieux. Il peut bien y avoir, dans quelques petites vallées de pays pauvres, de misérables moulins s'arrachant les uns aux autres une mince clientèle et ne rapportant que très-peu de chose au delà de leurs frais d'entretien, et il est bien possible qu'il y ait de l'avantage, dans de certaines localités, à supprimer une partie des moulins, trop nombreux pour la production agricole, et à concentrer leur travail sur les mieux situés d'entre eux, en reconstruisant leurs vieilles roues dans un système plus rationnel, qui en quadruplera la force sans dépenser plus de moteur. La destruction de ces quelques moulins, dont les tenues d'eau inondaient la plaine, pourra bien être alors plus économique que l'ouverture de deux longs contre-fossés occupant une zone de la partie la moins mauvaise du terrain de la vallée.

Mais outre que l'on ne pourra pas toujours se passer de contre-fossés le long de ceux des biefs qui seront conservés, les cas dont nous venons de parler doivent être considérés comme exceptionnels. Il y a généralement avantage à conserver les chutes d'eau créées et à en former de nouvelles. La nature livre à notre industrie une force motrice considérable, résultant de la descente des eaux courantes. Cette force est primitivement consommée à vaincre les résistances passives qu'opposent à l'écoulement de ces eaux les parois de leurs lits. Augmentons les sections d'écoulement, nous diminuons par cela seul les vitesses, et par suite, comme l'observait très-bien Coriolis, nous atténuons le travail des résistances, en sorte que nous rendons disponible pour nos besoins une portion de la force motrice, qui serait même utilisée tout entière si, en agrandissant beaucoup et partout les sections, nous réduisions presque à rien ces frottements qui décroissent dans une proportion beaucoup plus rapide que celle des vitesses. Or, le rehaussement du plan d'eau par une série de barrages est le moyen le plus praticable et le plus économique d'amener cette augmentation de section et cette disponibilité de forces naturelles qui n'exigent, pour être entretenues, ni nourriture comme les animaux, ni combustibles comme les machines à feu.

S'il y a, au temps présent, des localités assez peu avancées pour que l'on ne trouve pas encore à y faire un emploi utile de ces forces, les progrès de l'industrie agricole ou manufacturière tendent à changer cet état de choses et à donner aux forces dont nous parlons une valeur d'usage de plus en plus élevée.

Observons à ce sujet que ce n'est pas seulement à faire tourner des moulins ou des usines que le rehaussement du plan d'eau par des barrages et les chutes qui en résultent peuvent être employés. Le relèvement de l'eau permet aussi de la diriger par des dérivations sur les terrains environnants pour les irriguer, et sa chute peut faire

mouvoir une machine élévatoire qui portera l'irrigation plus haut encore et plus loin.

Il est donc important, autant pour l'agriculture que pour l'industrie, que les chutes d'eau ne soient point détruites, qu'elles soient au contraire ou augmentées ou multipliées.

Les plans d'eau des biefs peuvent même être élevés sans inconvénient, en contre-haut des prairies contiguës, au moyen de digues établies sur leurs bords. C'est ce que fait remarquer M. Nadault de Buffon dans son ouvrage *Des usines sur les cours d'eau*. Les prairies ne deviendront pas pour cela plus marécageuses, et elles pourront être assainies complétement, si l'on a soin de donner toujours à leurs eaux un égout et un débouché indépendants du bief rehaussé. L'expérience le prouve, car c'est ce que l'on peut remarquer, par exemple, autour de nos canaux de navigation et d'irrigation. Leurs eaux, bien que suspendues souvent à un ou plusieurs mètres au-dessus de la plaine environnante, n'y produisent point de marécages, parce que cette plaine a conservé, d'un des deux côtés, son écoulement ancien dans un cours d'eau, et est asséchée de l'autre par un contre-fossé communiquant avec le côté opposé par les aqueducs passant sous le canal, ou venant déboucher dans le canal lui-même en aval des chutes des écluses. C'est ce que l'on peut remarquer aussi auprès de beaucoup de biefs de moulins, dont les eaux, tenues à une certaine hauteur au-dessus des prairies voisines, ne leur nuisent en aucune manière, parce que des fossés ou des bras de décharge latéraux reçoivent tout ce qui tombe sur celles-ci ou ce qui peut filtrer à travers les digues de soutènement des biefs.

Il y a même ordinairement économie et avantage dans ce rehaussement des plans d'eau un peu au-dessus des endroits de la plaine qui sont contigus aux extrémités aval des biefs : il y a économie, parce que l'on peut obtenir ainsi une augmentation considérable de section et de chute en établissant simplement deux petites digues, qui se réduisent à une seule dans les parties où le bief est adossé à un coteau; il y a avantage, parce que le rehaussement de l'eau au-dessus de la plaine rend plus facile son arrosage.

Si, en élevant ainsi les rives du cours d'eau en amont de chaque barrage, on recreuse en même temps le lit en aval jusqu'à une certaine distance, de sorte que l'eau soit habituellement presque stagnante entre chaque barrage et le suivant, et si, de plus, on opère quelques redressements ou coupures en supprimant les sinuosités trop prononcées, on aura tiré à peu près tout le parti possible de la pente des eaux comme force motrice ou élévatoire.

Et l'assainissement, malgré cela, s'opérera avec facilité, en faisant déboucher les contre-fossés et les fossés d'égout dans des endroits plus bas, surtout en aval des chutes, après avoir fait passer au besoin leurs eaux sous les biefs par des aqueducs ou des buses calfatées, pour les reporter d'une rive à l'autre, par exemple, dans les endroits où le coteau, en se rapprochant d'une des rives du cours d'eau, empêchera de prolonger le contre-fossé du même côté. On pourra être dans le cas de faire passer de même les eaux d'égout sous quelques affluents, et d'endiguer ceux-ci sur une certaine longueur, quand

ils aboutiront à des portions endiguées de l'émissaire principal. Ces sortes de travaux n'offrent aucune difficulté.

## CONCILIATION DE L'ASSAINISSEMENT, DANS CE SYSTÈME, AVEC L'ABONDANCE DU PRODUIT EN HERBE.

Il arrive fréquemment que l'on ne s'occupe nullement d'assainir une prairie qu'une tenue d'eau maintient à l'état de demi-marécage, et cela, non pas précisément à cause des difficultés financières ou contentieuses que peut rencontrer l'opération de l'assainissement, mais surtout parce que l'on craint qu'après son exécution la prairie ne devienne encore moins productive. On se dit que les prairies saines deviendront trop sèches et que les parties mouillées produiront peut-être de meilleur foin, mais en quantité moindre, ce qui fera une compensation finalement désavantageuse.

Il y a un moyen facile et bien connu d'éviter l'inconvénient redouté, c'est-à-dire d'augmenter partout la quantité d'herbe en améliorant la qualité ; c'est de joindre l'irrigation à l'assainissement. Une irrigation complète, normale de toute la plaine pourrait exiger de trop grandes quantités d'eau et des travaux coûteux qui comprendraient des façons de planches ou grands billons à la manière des prés bas des Vosges. On peut se dispenser de tout cela, si l'on n'a pour but que de rendre à la prairie après son assainissement, mais aux époques convenables, le degré d'humectation qui y était trop continuel avant, et qui est de temps en temps nécessaire à l'abondance de l'herbe. On y arrivera facilement en se servant des contre-fossés et autres fossés ou conduits qui auront été pratiqués pour l'assainissement. On n'aura qu'à les barrer pendant quelques jours, en des temps choisis, de manière qu'ils se remplissent d'eau, et l'on hâtera au besoin cet effet en y faisant arriver quelques filets d'eau dérivés du ruisseau. Celui-ci pourra être relevé un peu, s'il le faut, par des hausses placées à cet effet momentanément sur les déversoirs.

Cette irrigation par infiltration peu abondante des terrains bas du fond de la vallée ne pourra provoquer aucune contestation fondée de la part des propriétaires des usines. En effet, il n'y a de perdu pour leur cours d'eau alimentaire que la partie de l'eau ainsi répandue qui s'évapore. Or, avant l'assainissement, l'évaporation était incomparablement plus considérable, puisque l'humectation de la surface était continuelle, et allait jusqu'à la submersion permanente sur beaucoup de points. Les usines auront donc gagné à l'assainissement, malgré les irrigations dont on le fait suivre, et leurs propriétaires n'ont aucun droit de se plaindre de la consommation d'une partie de l'eau par ces irrigations.

On peut en conséquence, avec ce système de contre-fossés, assécher une plaine sans craindre que son produit en herbe diminue en quantité.

## MOYENS DE FAIRE DES IRRIGATIONS PLUS ABONDANTES SANS NUIRE AU ROULEMENT DES USINES.

On peut, en faisant usage du même système, disposer encore plus largement des eaux pour des irrigations sans nuire au roulement des usines qui existent dans la vallée.

En effet, la force motrice d'une usine est le produit de deux éléments, le volume de l'eau qui passe dans un temps donné et la hauteur de sa chute. Si le volume diminue et si la chute augmente dans la même proportion, la force restera la même. Supposons donc que par des irrigations étendues au delà des terrains précédemment mouillés, on consomme plus d'eau que l'asséchement de ces terrains n'en a fait récupérer sur l'évaporation. Supposons, en conséquence, que le volume de l'eau faisant marcher chacune des usines de la vallée soit devenu réellement moindre, creusons nos contre-fossés latéraux. Ils permettent, avons-nous dit, de rehausser à volonté les tenues d'eau, sans nuire à l'asséchement et par conséquent d'augmenter les chutes à peu près sans frais, de manière à tirer parti de presque toute la pente du ruisseau entre chaque usine et la suivante. Nous pouvons donc faire des irrigations diminuant le volume de l'eau motrice, sans nuire pour cela aux usines existantes, auxquelles la même force sera conservée par l'augmentation de la chute.

Les contre-fossés et fossés d'asséchement, barrés à volonté par des vannes, et entourés de petites banquettes interrompues par des vannes plus petites, peuvent très-bien servir à opérer l'arrosage dans le système dit par submersion.

Il y a, au reste, d'autres moyens de concilier le mouvement des usines avec l'irrigation. On peut, ainsi que cela se pratique dans plusieurs vallées, arroser seulement de manière que les usines ne manquent d'eau que pendant les moments où leur travail est arrêté. Ainsi, si elles ne marchent que dans le jour, on peut arroser pendant la nuit jusqu'à des heures plus ou moins avancées, suivant la position des prises d'eau et la vitesse moyenne de l'eau du ruisseau, de manière que les usines inférieures de la vallée aient toujours leur moteur dès le matin. Ainsi, si elles chôment le dimanche, comme à l'ordinaire, on peut arroser depuis le samedi soir jusqu'à diverses heures de la nuit du dimanche au lundi. On peut aussi, en payant à chaque usinier ce qu'il aura à dépenser pour changer sa vieille roue en une roue fournissant le même travail avec beaucoup moins d'eau, disposer de tout le reste pour l'arrosage. On peut enfin, comme l'a proposé M. Nadault de Buffon, n'arroser qu'aux époques de l'année où les moulins ont plus d'eau qu'il ne leur en faut, c'est-à-dire au printemps, à la fin de l'automne et en hiver; ce qui suffira pour produire au moins une excellente coupe d'herbe suivie d'un pacage. Il y a donc plusieurs moyens de faire marcher de bon accord les irrigations et les usines, et de ne point exproprier celles-ci dans l'intérêt de celles-là, ce qui serait fort onéreux, vu qu'il faudrait que l'expropriation ou les indemnités de dépréciation s'étendissent à toutes les usines situées en aval des prises d'eau.

On peut remarquer à cet égard que les irrigations présenteront moins de difficultés si la vallée offre plusieurs petits moulins dont les roues sont toutes anciennes et susceptibles d'amélioration, que si, par la destruction d'une partie d'entre eux, on a concentré leur travail sur quelques-uns, en améliorant leurs roues comme nous l'avons dit plus haut. En effet, la moindre soustraction d'eau empêcherait ces derniers de marcher, et obligerait à en payer la dépréciation ou à leur procurer des moteurs supplétifs, tels qu'une machine à vapeur fonctionnant dans le temps de l'étiage ; tandis que de fortes diminutions du volume de l'eau seront très-conciliables avec la continuation du mouvement des petits moulins convenablement améliorés.

L'intérêt de l'agriculture demande donc, non moins que celui de l'industrie, que l'on ne détruise aucune chute motrice.

# NOTIONS SUR LES PORTS MARITIMES.

## DES MARÉES ET DES VENTS.

**Définitions.** — Les marées sont produites par le mouvement périodique d'exhaussement et d'abaissement des eaux de la mer; ce double mouvement s'accomplit en 12h 24'. Le mouvement ascensionnel se nomme *flot* ou *flux*, et le mouvement descendant se nomme *jusant*, *reflux* ou *ebbe*.

**Causes des marées.** — La lune exerce sur les parties fluides de notre globe une action semblable à celle qui est produite sur sa masse solide; mais la fluidité permettant aux molécules un mouvement isolé, l'effet qui en résulte est modifié. Le poids du fluide qui est situé du côté de la lune est un peu diminué, parce qu'il est plus attiré que le centre de la terre; les parties liquides obéissent à cette attraction qui les élève un peu au-dessus de la surface de niveau du globe. Il en faut dire autant de la masse fluide diamétralement opposée, qui est moins attirée que le centre de la terre; d'un côté c'est le fluide qui s'élève, et de l'autre c'est la surface terrestre qui, s'abaisssant au-dessous du niveau, laisse le fluide plus élevé. Ici, comme dans l'action solaire sur la lune aux syzygies (1), les effets sont les mêmes aux points opposés.

A raison de cette diminution de poids de part et d'autre du sphéroïde terrestre, deux masses d'eau, sous forme de montagnes liquides opposées, suivent la lune dans sa marche, et parcourent la surface des mers dans la rotation diurne du globe. Si elles rencontrent des rivages, elles s'y précipitent en les couvrant; elles troublent l'eau des fleuves en les refoulant et leur donnant un courant opposé : c'est le *flux* ou le *flot*. Les points de la mer éloignés de 90 degrés en longitude, et qui sont pour ainsi dire en quadrature, éprouvant un effet contraire, les eaux s'y affaissent autant par l'effet de l'accroissement de poids, que par la communication avec les eaux du flux qu'elles doivent alimenter, en s'écoulant vers elles; les rivages qui en étaient couverts sont abandonnés; c'est le *reflux* ou le *jusant*.

Tel est le phénomène des marées. Même dans le temps le plus calme, on voit la mer se soulever pendant environ 6 heures et se précipiter avec fureur sur le rivage, qu'elle envahit peu à peu, jusqu'à une hauteur plus ou moins grande; ensuite, elle reste quelques instants stationnaire; on dit alors qu'elle est *haute*, *pleine* ou *étale*.

(1) *Syzygies*. Lorsque le soleil et la lune ont même longitude, on dit qu'ils sont en *conjonction*. Lorsque la différence entre leurs longitudes est de 180 degrés, on dit qu'ils sont en *opposition*. Ces deux positions sont appelées les *syzygies*. Une lunaison est l'intervalle de temps compris entre deux syzygies de même nom, c'est-à-dire entre deux *conjonctions* ou entre deux *oppositions*.

Bientôt elle redescend pendant 6 heures et s'abaisse d'autant plus qu'elle s'est élevée davantage. La même suite de mouvements périodiques se reproduit éternellement.

L'attraction solaire doit aussi faire sentir son action dans ce grand phénomène; cet astre tendra à élever les mers à midi et à minuit, heures de son passage au méridien; les eaux s'abaisseront au contraire à 6 heures du matin et du soir. Il y aura donc quatre marées par jour, deux produites par la lune et deux par le soleil: dans les syzygies, ces marées se réduiront à deux, dont l'intensité sera la somme de deux effets (*fig.* 23, *Pl. VIII*). Dans les quadratures, les directions des forces seront perpendiculaires et ne pourront se nuire, en sorte que les marées solaire et lunaire auront lieu comme si chacune s'opérait séparément; mais lorsque la haute mer lunaire aura lieu sous le méridien de la lune, la basse mer solaire se fera sentir au même endroit, qui se trouve être à 90 degrés du méridien solaire. La marée totale sera donc la différence des deux marées partielles (*fig.* 24, *Pl. VIII*). On conçoit comment les quatre marées se réduisent à deux par leurs combinaisons entre elles.

La plus forte est dans les syzygies, la plus faible dans les quadratures.

Telles sont donc les causes et les lois des phénomènes de la marée. Cette cause réside dans le soleil et dans la lune. Si l'on considère la terre comme un sphéroïde enveloppé d'eau, les molécules d'eau situées en A (*fig.* 23, *Pl. VIII*) seront plus attirées par le soleil situé en S que le centre T de la terre; elles devront donc s'écarter davantage de ce centre que les molécules situées en C et C′; d'un autre côté, les molécules d'eau situées en B seront moins attirées que le centre T, elles resteront donc en arrière, c'est-à-dire plus éloignées de ce centre que les molécules en C et C′; il y aura donc à la fois intumescence aux points A et B. Il résulte de ces attractions différentes que les eaux répandues sur le globe, au lieu de conserver la forme ronde, vont prendre la forme d'un ellipsoïde dont l'un des bouts sera tourné vers l'astre attirant.

L'intensité d'une marée dépend de la distance de la terre à la lune et au soleil. Ainsi, plus la lune sera proche de nous (plus sa parallaxe et son diamètre apparents seront grands), et plus la marée aura de force : la vitesse de l'astre, qui est alors la plus grande, ajoute encore à l'effet. On voit donc que lorsque la lune sera au périgée, la marée aura plus de force, et qu'elle en aura moins à l'apogée. Le peu d'excentricité de l'écliptique rend presque nulles les variations des distances du soleil à la terre. L'expérience apprend qu'en France chaque marée, telle que le calcul en détermine l'intensité, est toujours retardée de 36 heures.

**Vives eaux, mortes eaux.** — Les premières marées s'appellent *vives eaux*, et les secondes *mortes eaux*; on conçoit, d'après ce qui vient d'être dit, que l'on ne passe pas de la vive eau à la morte eau par une transition brusque, mais par des diminutions de hauteur régulières et graduelles; la vive eau est censée durer sept jours et la morte eau sept jours.

**Marée d'équinoxe.** — Nous venons de raisonner comme si

le soleil et la lune se trouvaient dans l'équateur ; la théorie prouve que les actions de ces astres décroissent quand leurs déclinaisons augmentent. Ainsi les marées, dans les temps des équinoxes, sont les plus considérables, surtout si elles arrivent en même temps qu'une syzygie. Nous ne disons rien ici de ce que la puissance des vents et leur direction peut ajouter au phénomène.

Comparons l'élévation de la haute mer sur la basse mer, lorsque la lune est à sa moyenne distance, d'une part dans les syzygies, et de l'autre dans les quadratures; cette hauteur dans les syzygies est la somme des effets du soleil et de la lune; elle en est la différence dans les quadratures, ainsi qu'on vient de l'exposer. Une longue suite d'observations a permis d'en déduire le rapport d'intensité des forces du soleil et de la lune. Laplace a trouvé que la première n'est que le tiers de la seconde : cela tient à ce que la petitesse de la masse lunaire est plus que compensée par sa proximité. Ainsi, la lune est la cause la plus importante du phénomène et paraît en diriger les périodes.

**Retard des marées.** — Il ne faut pas croire que l'instant de la marée dans les syzygies soit à midi ou à minuit, heures du passage de la lune au méridien; il y a des retards qui tiennent à la configuration des côtes, etc. Lorsque la lune est entre les syzygies et les quadratures, l'action de cet astre se compose avec celle du soleil; et la résultante, dirigée entre ces deux corps, détermine la point le plus élevé de la protubérance aqueuse. Cette résultante sera plus rapprochée de la lune, qui exerce une action triple, et selon que cet astre ira au périgée ou à l'apogée, cette force prendra diverses situations à l'égard de ce satellite. On voit donc que l'heure de la marée avancera des syzygies aux quadratures, parce que la résultante passera à l'ouest de la lune (*fig. 25, Pl. VIII*); il y aura retard des quadratures aux syzygies, attendu que cette force tombera à l'est. Ces avances et retards varieront avec le lieu de la lune dans son ellyse, puisque la résultante se rapprochera de la lune au périgée, s'en éloignera à l'apogée.

On voit donc que les marées sont surtout réglées par la lune; le soleil ne peut jamais qu'accroître ou diminuer, avancer ou retarder l'effet produit par ce satellite, dont la proximité contribue puissamment au phénomène; les distances des deux astres à l'équateur y influent beaucoup aussi. La marée sera au minimum dans les quadratures, si la lune est apogée; si l'astre est périgée, elle sera au maximum dans les syzygies; enfin les marées des équinoxes sont les plus puissantes quand elles se réunissent avec la lune périgée. Toutes choses égales d'ailleurs, la plus grande marée est à peu près double de la moindre; celle-là n'est que la troisième marée après une syzygie; celle-ci la troisième après une quadrature.

**Durée qui sépare deux hautes mers successives.** — Cette durée n'est pas constamment la même : sa valeur moyenne est de $12^h 4206 = 12^h 25' 14'' 15'''$, participant ainsi aux retards des passages méridiens de la lune; l'étendue de deux marées consécutives se trouve toujours à peu près renfermée dans les limites du jour lunaire correspondant : elle est de $24^h 50' 8'' 3''' = 24^h,8412$, et

excède le jour solaire de près d'une heure. Il y a donc des jours où l'on ne peut observer deux marées complètes.

Les deux montagnes aqueuses qui causent la marée n'ont pas pour axe le rayon vecteur mené de la terre à la lune, et le passage méridien de l'astre n'est pas le moment où le phénomène se manifeste. La manière dont l'action de cet astre se compose avec celle du soleil, l'adhérence des eaux dont l'écoulement n'est pas instantané, leur frottement sur le fond de la mer, la rotation diurne de la terre, qui force cette protubérance à se déplacer sur la surface et qui l'empêche d'atteindre à son maximum d'élévation à l'instant où la résultante des deux forces principales vient l'attaquer, enfin l'écoulement avec une vitesse accélérée des eaux du reflux pour combler le vide des eaux du flux : telles sont les principales causes qui n'amènent le retour du soulèvement des eaux que plusieurs heures après le passage de la lune au méridien et forcent la mer à mettre un peu plus de temps à descendre qu'à monter.

L'étendue des eaux doit contribuer à leur élévation, puisque dans une vaste mer tout y favorise l'action lunaire et solaire ; aussi dans la Méditerranée les marées sont à peine sensibles, et elles ne le sont nullement dans la mer Caspienne et la mer Noire. Cependant le phénomène est assez remarquable dans ces lieux mêmes, lorsque la transmission des ondes se produit dans des parties profondes et resserrées. On observe des marées au fond du golfe de Venise.

**Heures des hautes et basses mers.** — C'est au moyen des formules de Laplace que M. Chazallon, ingénieur-hydrographe de la Marine, détermine chaque année pour divers ports l'heure des hautes et basses mers et l'élévation de l'Océan. Relativement à l'heure de la haute mer, les uns admettent que c'est l'instant où la mer ne monte plus d'une manière sensible, les autres que c'est l'instant où elle commence à baisser d'une manière un peu sensible. Pour faire sentir le vague de ces déterminations, M. Chazallon fait observer que, lors des faibles marées, ces instants diffèrent quelquefois de $2^h30^m$ ; il pense que la seule détermination convenable est celle qui tient le milieu entre le moment où la mer cesse de monter et celui où elle commence à descendre. Les heures qu'il donne dans son *Annuaire* se rapportent toutes à cet instant moyen. Il faut remarquer que, dans chaque localité, il importe de connaître le moment où la mer a atteint sa plus grande hauteur et celui où elle commence à descendre, parce que pendant tout cet intervalle de temps, que l'on appelle *étale*, la navigation peut profiter de la plus grande hauteur de la mer.

**Établissement d'un port.** — La configuration des rivages retarde aussi beaucoup l'époque du flux, et les divers lieux d'une côte en reçoivent l'effet à des moments différents ; mais comme ces causes de retard sont constantes, leur effet l'est aussi. Le retard que la marée éprouve dans chaque lieu sur le passage méridien de la lune est toujours le même dans ce lieu. L'heure de la pleine mer pour chaque lieu est ce que l'on nomme l'*établissement du port*. L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* et celui de M. Chazallon donnent les heures de la pleine mer dans les principaux ports des côtes

de l'Europe les jours de la nouvelle et pleine lune. Nous donnons seulement ici ces heures pour les ports français :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dunkerque | $11^h,45'$ | Brest (le port) | $3^h,45'$ |
| Calais | 11 ,45 | Lorient (le port) | 3 ,30 |
| Boulogne | 10 ,40 | Saint-Nazaire | 3 ,45 |
| Dieppe | 10 ,30 | L'île d'Oléron (au château) | 4 ,00 |
| Le Havre | 9 ,15 | Pertuis de Mammusson | 3 ,30 |
| Honfleur | 9 ,15 | Ile d'Aix | 3 ,37 |
| La Hougue | 8 ,00 | Rochefort | 3 ,48 |
| Cherbourg | 7 ,45 | Gironde — Tour de Cordouan | 3 ,59 |
| Jersey | 6 ,00 | Gironde — Royan | 4 ,01 |
| Guernesey | 6 ,00 | Gironde — Bordeaux | 7 ,45 |
| Mont Saint-Michel | 6 ,30 | Bayonne | 3 ,50 |
| Saint-Malo | 6 ,00 | | |
| Granville | 6 ,09 | | |
| Morlaix | 5 ,15 | | |

Ainsi il est $3^h45'$ à Brest lorsque la mer est haute, les jours de la nouvelle et de la pleine lune. Si l'on conçoit un large canal ouvert d'un côté dans la mer et se prolongeant de l'autre au loin dans les terres, lorsque le flux arrivera à l'embouchure, le mouvement des ondes se propagera successivement jusqu'à l'autre bout du canal ; mais ces oscillations se feront sentir d'autant plus tard que la distance à la mer sera plus grande. Telle est l'idée qu'on doit se faire du retard des marées dans les différents ports.

Connaissant l'établissement d'un port, on peut obtenir approximativement pour un jour donné l'heure de la pleine mer. En effet, la durée d'une marée complète est de $12^h24'$, parce que la pleine mer retarde chaque jour de 48', comme le passage de la lune au méridien ; on aura donc l'heure approximative de la pleine mer pour un jour en ajoutant à l'établissement du lieu autant de fois 48' qu'il se sera écoulé de jours depuis la pleine ou la nouvelle lune.

**Marées cotidales.** — M. Wewhel a cherché à déterminer par des observations et par le calcul les points du globe où les phénomènes de la marée se manifestent au même instant physique. En joignant ces points, il a formé des courbes qu'il appelle *cotidales* ou contemporaines. Ces courbes, tracées sur une mappemonde, justifient complétement l'opinion de divers géomètres sur la manière dont les marées se propagent, opinion si bien développée par Laplace pour expliquer le retard des marées et leur transmission dans nos ports. Nous donnons, *fig.* 26, *Pl. VIII*, le tracé des courbes cotidales dans la Manche.

**Marée totale.** — On appelle *marée totale* la demi-somme de hauteur de deux pleines mers consécutives au-dessus de la basse mer intermédiaire. Cette marée totale varie suivant les mers et suivant les ports. Dans l'Océan elle atteint quinze mètres, tandis que dans la Méditerranée elle varie entre $0^m,15$ et 1 mètre. Dans la mer Caspienne, entièrement isolée, les marées sont nulles. Cette différence tient à ce que l'étendue de ce que l'on appelle les petites mers, telles que la Méditerranée, la mer Baltique, la mer Noire et la mer Cas-

pienne, est fort petite comparativement aux dimensions de la terre. Il suit de là que, lors du passage de la lune au méridien de la mer Caspienne, par exemple, toutes les molécules de cette mer se trouvent presque à la même distance de l'astre attirant, de sorte que son action se faisant sentir simultanément d'une manière égale sur toutes, il n'y a pas de raison pour que l'une s'élève et que l'autre s'abaisse, et partant elles restent sensiblement en repos. Quant aux mers qui communiquent avec l'Océan, l'ondulation de la marée s'y propage, et il y entre bien une certaine quantité d'eau; mais cette quantité est presque insignifiante, eu égard à la grande étendue de ces mers, de sorte que l'élévation qui en résulte est presque insensible.

**Unité de hauteur.** — On appelle *unité de hauteur* la moitié de la marée totale, moyenne d'un grand nombre de marées observées en vive eau d'équinoxe. C'est en quelque sorte le niveau moyen de la mer, la hauteur constante à laquelle elle se maintiendrait, si elle n'était pas soumise à la double action du soleil et de la lune. On pourrait aussi obtenir ce plan moyen en prenant la moyenne de toutes les hautes et basses mers par année ou par groupes d'années.

Voici quelques unités de hauteur données par

| | Le Bureau des Longitudes. | M. Daussy, ingénieur hydrographe. |
|---|---|---|
| Saint-Nazaire. | » »» | 2,64 |
| Le Croisic... | 2,68 | 2,49 |
| Lorient...... | 2,24 | 2,34 |
| Brest....... | 3,21 | 3,21 |
| Saint-Malo.. | 5,98 | 5,67 |
| Granville.... | 6,35 | 6,11 |
| Cherbourg... | 2,70 | 2,90 |
| Le Havre.... | » »» | 3,79 |
| Fécamp..... | » »» | 4,03 |
| Dieppe...... | 2,87 | 4,62 |

**Coefficients des marées.** — L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* indique chaque année les coefficients par lesquels il faut multiplier l'unité de hauteur de chaque port pour avoir la hauteur au maximum présumé de la marée dans les syzygies au-dessus du plan moyen et sa profondeur au-dessous. Ces coefficients varient de 0,74 à 1,12. Il est très-utile pour les marins de les bien connaître, pour savoir quelle hauteur d'eau ils trouveront en entrant dans un port. Les ingénieurs doivent aussi savoir de combien leurs travaux découvriront et de quelle charge ils seront recouverts.

**Causes qui modifient les hauteurs des marées.** — La configuration des côtes est, comme nous l'avons déjà dit, une des principales causes qui modifient les hauteurs des marées. Lorsque la vague-marée est transmise dans nos ports, elle sillonne la Manche, et se trouve en partie arrêtée par les îles de Guernesey, de Jersey, d'Aurigny, et surtout par la côte de Cotentin; aussi la hauteur des marées augmente-t-elle à partir de Brest jusqu'à Granville, pour décroître ensuite jusqu'au Havre.

Le même effet se produit dans la baie de Bristol, où la marée totale en vive eau est de 12 à 14 mètres.

Tous les résultats prévus par les calculs et les observations sont souvent fortement modifiés par des circonstances locales, et surtout par les vents. Leur influence est telle que, par certains vents, les pleines mers de morte eau peuvent s'élever plus que les pleines mers de vive eau. On en a vu des exemples à Dunkerque et dans le port de Christchurh en Angleterre.

On a remarqué que sur les côtes de l'Océan les tempêtes produisent souvent les plus fortes marées. Cela tient à ce que les vents violents qui viennent du large arrivent jusqu'aux ports sans rencontrer d'obstacle. L'effet contraire a lieu pour les côtes exposées différemment. Ainsi les vents qui font monter la mer à Cherbourg l'abaissent à Plymouth, et réciproquement. Les ingénieurs doivent donc observer avec soin la direction et l'intensité des vents, surtout pendant les syzygies.

**Relation entre les temps et les ascensions de la marée.** — On a remarqué qu'il existait une relation entre les temps et les ascensions de la marée. Les astronomes admettent avec Laplace que, si l'on représente par un diamètre vertical *ab* (*fig.* 27, *Pl. VIII*) la hauteur totale d'une marée, et si l'on divise en parties égales la circonférence tracée sur ce diamètre, et que par chaque point de division on mène des horizontales jusqu'à la rencontre du diamètre, si les divisions de la circonférence représentent les temps de la mer constante, les divisions correspondantes sur le diamètre représenteront les hauteurs dont la mer se sera élevée pendant ce temps. On voit donc que la mer commence à monter doucement, qu'elle accélère son mouvement au milieu de sa course pour le ralentir à la fin. La même chose a lieu alors pour la mer descendante : c'est le milieu du mouvement qui s'accélère pour se ralentir ensuite. Il est bien entendu que cette loi ne peut être observée que lorsque la mer est dans un état calme.

**Courbes annuelles ou diurnes des marées.** — On peut représenter graphiquement les ascensions et les abaissements de la mer. Pour cela, on trace des courbes annuelles ou diurnes. Dans les premières, les demi-jours sont les abscisses, et les hauteurs des marées les ordonnées. A chaque vive eau la courbe atteint au maximum, et les minima correspondent aux mortes eaux. M. Virlas assimile ces courbes à la projection d'une hélice sur un plan passant par l'axe d'un cylindre horizontal autour duquel l'hélice serait tracée. Dans les secondes courbes, les abscisses sont les temps, les heures par exemple, et les hauteurs de la mer correspondantes forment les ordonnées; le sommet de la courbe donne le temps du plein, et le minimum donne celui de la basse mer.

**Hydromètre. — Maréomètre.** — Les hauteurs des marées s'observent directement sur des échelles graduées ou dans des puits de marées que l'on appelle *hydromètres* ou *maréomètres*. Celui construit à Cherbourg est disposé de manière à ce que la mer trace elle-même sa courbe ascendante et descendante. On vient aussi d'en construire un à Saint-Malo. Il serait à désirer de voir se multiplier ces observations dans les ports; car elles sont fort utiles à consulter lorsque l'on projette ou exécute des travaux.

**Marées diurnes, semi-diurnes, tiers-diurnes, quart-diurnes.** — Les mouvements ascendants et descendants de la mer ne sont pas partout réguliers. On cite quelques localités où l'on a remarqué deux flux et deux reflux en 12 heures, et quelquefois davantage.

Entre Rochefort et l'embouchure de la Charente, la marée, dans les quadratures, fait deux eaux. Voici comment M. Ménard décrit ce phénomène, qu'il a observé pendant trois jours environ : « Vers les quadratures, le flux, qui dure ordinairement 5 heures, est partagé en deux ascensions. Après 3 heures environ de montant, la mer est stationnaire 7 à 10 minutes : c'est la première eau; ensuite la marée descend pendant 1 heure ou 2, pour remonter ensuite jusqu'à l'heure déterminée du jour, et la mer est encore stationnaire pendant 4 à 8 minutes : c'est la dernière eau.

**Étale.** — La mer met presque partout un peu plus de temps à descendre qu'à monter; mais entre ces deux mouvements elle reste plus ou moins longtemps stationnaire. On dit alors que la mer est *étale,* et le temps de cette hauteur constante est *étale.* La durée de l'étale est très-variable pour tous les ports, et même pour chaque port. Au Havre, l'étale dure quelquefois presque 2 heures, tandis qu'en d'autres ports, Dieppe et Dunkerque, par exemple, la mer descend presque aussitôt qu'elle ne monte plus. C'est un grand avantage pour le port du Havre, parce que pendant ce temps les navires trouvent plus d'eau et sont moins gênés par les courants. A Honfleur, à l'embouchure des rivières d'Orne et de Dive, et en un point au delà du cap d'Autifer, l'étale se prolonge presque autant qu'au Havre.

Lamblardie a expliqué ce phénomène par le déversement des eaux de la mer dans la baie de la Seine; il a observé que deux courants partiels dérivés du courant principal du flot, dans la Manche, se dirigent vers l'embouchure de la Seine; que ces courants dérivés se détachent du courant principal, suivant une ligne joignant la pointe de Barfleur au cap d'Autifer, et que les marins désignent sous le nom de *lime* ou *rondaine.* Au Havre et sur les côtes voisines, la mer est plus basse qu'au large tant que les eaux s'élèvent dans la Manche et que les courants ne changent dans la Seine, pour se déverser vers le large, que quand il y a déjà reflux au large. Le niveau des eaux à l'embouchure de la Seine variera donc très-peu depuis l'instant du plein au large jusqu'à ce que la marée y soit devenue assez basse pour rappeler les eaux entrées dans la baie. L'étale pourra donc se prolonger jusqu'au Havre depuis le moment où cesse le déversement du large vers la baie jusqu'au moment où commence le déversement de la baie du Havre vers le large.

M. Chazallon pense que c'est à la marée quart-diurne que l'on doit principalement la durée de l'étale au Havre. Ces deux phénomènes peuvent avoir la même cause; mais il est douteux que l'un soit produit par l'autre. Essayons d'expliquer l'étale au moyen des faits constatés et des observations des ingénieurs.

**Causes de l'étale.** — Nous avons dit que M. Daussy, ingénieur hydrographe, a aussi observé des marées intermédiaires dans

plusieurs ports, notamment dans le port de Poole, en Angleterre (*fig.* 26, *Pl. VIII*), un peu au nord de Cherbourg; il y a observé :

| | |
|---|---|
| Un premier flux durant..... | $6^h,00^m$ |
| Un premier reflux durant.... | 1 ,30 |
| Un second flux durant...... | 1 ,30 |
| Un second reflux durant.... | 3 ,00 |
| Total............ | $12^h,00^m$ |

En rapprochant ces observations de celles faites par Lamblardie, elles peuvent s'expliquer les unes par les autres :

Le premier flux dure tout le temps de la mer montante, sans rencontrer d'obstacle, le port de Poole se trouvant rapproché du courant principal du flot.

Le premier reflux a lieu pendant que la baie de Seine, gardant son plein, le courant d'ebbe n'a encore lieu qu'au large.

Le deuxième flux a lieu lorsque les eaux de la baie de Seine commencent à s'écouler, qu'elles sont réfléchies vers Poole par le promontoire de Cherbourg et qu'elles arrêtent le courant principal d'ebbe.

Enfin le deuxième reflux a lieu lorsque toute la Manche déverse vers l'Océan.

L'étale du port du Havre doit avoir lieu pendant tout le temps du premier reflux et une partie du temps du second reflux, ce qui fait bien à peu près 2 heures.

De cette manière tout s'explique : les marées intermédiaires de Poole et l'étale du Havre, par des causes toutes naturelles, l'influence de la baie de la Seine et la configuration des côtes sur les courants de flot et d'ebbe. Les marées intermédiaires du port du Havre s'expliqueraient sans doute de la même manière, si on connaissait leurs durées et si on les comparait avec celles de Poole.

**Marées extraordinaires.** — La mer a souvent des mouvements violents et imprévus, dont les effets sont désastreux, et qui sont des anomalies aux lois régulières des marées. Ainsi au Havre, en 1825, il y eut la male marée qui inonda toute la ville; ses effets furent tels que l'on avait fondé une messe et une procession pour se préserver d'un pareil désastre.

En 1716, l'étale dura 24 heures; le 11 novembre 1810, l'eau monta de $1^m,30$ sur les quais du Havre. Dans la nuit du 14 au 15 février, par une tempête de vent d'ouest, la mer s'éleva en morte eau, comme dans une grande vive eau d'équinoxe.

Le 4 janvier 1807, quatre jours avant la nouvelle lune, c'est-à-dire en morte eau, eut lieu à Flessingue la fameuse marée qui manqua de noyer pendant la nuit la moitié des habitants. La mer s'éleva de $0^m,70$ au-dessus des plus hautes mers connues.

A Dunkerque, le 2 mars 1820, une marée extraordinaire s'éleva de $0^m,70$ au-dessus des hautes mers d'équinoxe; le coefficient n'était cependant que $0^m,85$.

Dans la nuit du 19 au 20 janvier 1817, la marée s'éleva à Plymouth de $1^m,82$ au-dessus de son niveau ordinaire; coefficient minimum : $0^m,73$.

En novembre 1824, il y eut encore à Plymouth une tempête plus désastreuse : la marée, qui s'élève ordinairement de 5m,47 en vive eau, s'éleva cette fois à 7m,90, l'ouragan arriva précisément à la syzygie ; coefficient : 0m,89.

**Ras de marée.** — Les ras de marées sont un phénomène très-remarquable, qui a surtout été observé dans la mer des Antilles. C'est un phénomène de très-forte ondulation et d'élévation des eaux de la mer, auquel les vents ou les causes de la marée semblent étrangers.

On a observé des ras de marée à Marseille. Les eaux, qui ne s'élèvent pas à plus d'un mètre au-dessus de leur niveau ordinaire, se sont tout à coup élevées à plusieurs mètres et ont inondé pendant plusieurs heures les quais et une partie de la ville.

Lorsque les ras de marée sont violents sur la rade de Saint-Pierre de la Martinique, la mer, vue de la ville, paraît calme ; on ne peut juger les grandes oscillations de sa surface que par le balancement des bâtiments, qui ne peuvent plus gouverner. Mais quoiqu'il ne fasse pas de vent, des ondes d'une hauteur prodigieuse s'avancent en grossissant jusqu'au rivage, où elles se brisent avec fracas.

On a remarqué que les ouragans et les coups de vent de la Guadeloupe occasionnent des ras de marée à la Martinique, et que, réciproquement, les ouragans et les coups de vent de la Martinique produisent des ras de marée à la Guadeloupe.

Les ras de marée sont connus sur différents autres points ; on les observe sur les côtes de Caracas et de la Guyane ; on en a observé dans les hautes latitudes des mers méridionales. Lorsqu'on peut les prévoir, les bâtiments quittent les rades et gagnent la haute mer.

On ignore jusqu'ici la cause de ces phénomènes ; on les attribue à de violents coups de vent au large, à des soulèvements sous-marins ou à des tremblements de terre.

**Propagation de la marée dans les fleuves.** — Les marées se propagent dans les golfes et dans les fleuves d'abord comme une onde ; puis l'élévation de cette onde détermine un courant ; elles finissent par devenir insensibles à des distances de l'embouchure variables pour chaque rivière. L'heure de la pleine mer est différente pour tous les points du fleuve.

La forme de l'embouchure a une grande influence sur la hauteur et les heures de la pleine mer dans le cours du fleuve. Ainsi, pour l'Adour, dont l'embouchure a la forme d'un entonnoir dont le col serait tourné vers la mer, les eaux restent plus élevées à l'extérieur qu'à l'intérieur, parce que la mer commence à descendre avant que le fleuve ne soit rempli. Cet état de choses est nuisible à la navigation, car les navires sont retenus dans le fleuve jusqu'à ce que la mer soit descendue à son niveau.

Dans la Somme, au contraire, dont l'embouchure a la forme d'un entonnoir dont le col serait tourné vers l'amont, les eaux s'élèvent davantage, et plus tard dans l'intérieur des terres que vers l'embouchure ; la haute mer, à Abbeville, est plus haute de 0m,25 que la haute mer au Crotoy ; elle arrive 1h 30′ plus tard au premier lieu

qu'au second ; la mer a déjà baissé de plus d'un mètre à Saint-Valery, lorsqu'elle monte encore à Abbeville.

La Seine participe des deux régimes, parce que son étranglement ne commence qu'à Quillebeuf; en vive eau, l'eau monte plus à l'intérieur qu'à l'extérieur: en morte eau, au contraire, l'eau s'élève moins à l'extérieur qu'à l'intérieur. La basse mer de morte eau dans le fleuve est plus basse que la basse mer de vive eau, parce qu'en vive eau le fleuve n'a pas le temps de descendre à son état normal avant que la mer n'y remonte.

La marée remonte très-haut dans les fleuves lorsqu'elle ne rencontre pas d'obstacles, parce que les pentes des fleuves sont toujours très-faibles vers leurs embouchures.

Dans la Seine, la marée remonte jusqu'au pont de l'Arche, où elle rencontre une chute.

Elle remonte à 85 lieues dans l'Orénoque, et jusqu'à 200 lieues dans le fleuve des Amazones.

**Le Mascaret, la Barre.** — La marée, en se propageant dans les fleuves, y produit un phénomène dont le nom change, suivant les localités. Il consiste en une onde unique ou plusieurs ondes qui se suivent, et le plus ordinairement en une vague élevée et déferlant, qui se meuvent avec une grande rapidité depuis le point de l'embouchure jusque fort avant dans les terres, en occasionnant souvent de grandes avaries, soit aux navires, soit aux propriétés riveraines.

Ce phénomène a été observé par M. Le Prédour dans le Gange. Il se nomme *bore ;* sa hauteur est de 4 à 5 mètres, et sa vitesse de 9 mètres par seconde.

Dans le fleuve des Amazones, il se nomme *the rollers ;* sa hauteur est de 4 à 5 mètres; sa vitesse est très-grande.

Dans la Dordogne, c'est le *mascaret;* sa hauteur est de $1^m,50$ à 2 mètres, et sa vitesse de $4^m,50$ par seconde.

Dans la Seine, ce phénomène est connu sous le nom de la *barre;* il forme en effet une barre qui traverse le fleuve, qui s'élève de 1 à 2 mètres, et dont la vitesse est de $6^m,60$ par seconde. D'après les observations de M. Frissard, faites sur la Seine entre le Havre et Rouen, cette onde ne provient pas d'un déplacement réel des eaux; la barre ou l'ondulation que l'on aperçoit à Duclair n'est pas celle que l'on a vue à la Mailleraie; un corps flottant rencontré par la barre est seulement soulevé, et il reste ensuite à peu près au même point. Ce n'est donc qu'une onde qui se propage sans déplacement de fluide. D'après ce célèbre ingénieur, la barre est l'effet produit par le choc de deux courants opposés, celui de la mer montante et celui de la rivière descendante. Lorsque ces deux courants commencent à se rencontrer, ils mêlent leurs eaux sans produire d'autre effet sensible qu'un faible exhaussement du niveau de l'eau; mais le courant venant de la mer augmentant rapidement en vitesse à mesure que la mer monte plus vite, il produit un choc sur les eaux de la Seine déjà accumulées ; l'eau, étant incompressible, est obligée de s'élever et produit un des effets que nous avons indiqués : la première tranche choquée transmet le choc à la tranche

suivante, et ainsi de suite. Cette transmission se propage ainsi de l'aval à l'amont, et elle est d'autant plus rapide, et son effet est d'autant plus sensible, que le choc est plus considérable, ce qui doit avoir lieu en vive eau, et lorsque les vents de mer sont violents.

**Des Courants.** — La direction et la force des courants doivent être parfaitement connus des navigateurs et des ingénieurs. Au large, les courants produisent sur un navire ce qu'on appelle la *dérive*. Lorsqu'un navire ne connaît pas bien la force d'un courant, il ne peut pas bien estimer sa dérive, ni connaître l'endroit où il se trouve. Cette ignorance cause souvent la perte des navires. Les bâtiments à vapeur se perdent plutôt que les bâtiments à voiles, parce qu'ils redoutent moins de dériver, pensant qu'avec la vapeur ils surmonteront le courant. Mais tels parages ont des courants si forts, qu'il est souvent impossible de prendre le large. Pour les ingénieurs, il importe de connaître la force des courants sur les côtes, pour la disposition et la conservation des ouvrages extérieurs des ports.

Dans la Méditerranée, il existe un courant général et constant qui va de l'ouest à l'est, le long des côtes d'Afrique, et de l'est à l'ouest, le long des côtes d'Espagne. Le courant semble entrer par le détroit du côté de l'Afrique, et ressortir en longeant l'Espagne. Cependant, les marins assurent que l'eau entre toujours dans la Méditerranée, et qu'il faut forcer de voiles pour passer dans l'Océan. Pour expliquer ce courant constant, quelques-uns disent que la Méditerranée remplace ainsi les pertes dues à l'évaporation; d'autres disent qu'il y a probablement des courants d'eau sous-marins qui font équilibre au courant supérieur. Ce double courant n'est pas sans exemple ; ainsi dans le goulet de la rade de Brest, lorsque la mer commence à monter, un canot, en temps calme et par le seul effet des courants, entre en rade, tandis que, dans les mêmes circonstances, un navire qui tire plus d'eau peut en sortir.

La vitesse des courants de la Méditerranée varie de $0^{m},07$ à $0^{m},15$ sur les côtes de France ; sur les côtes de l'Algérie, on l'a trouvée de $0^{m},25$ à $0^{m},50$, et même de 1 mètre près des caps.

Dans l'Océan, il y a des courants généraux très-nombreux et très-variables ; ainsi, entre le cap de la Hogue et Cherbourg, les courants de marée sont tels que, en douze heures, ils font à peu près le tour du compas. La vitesse de ces courants varie beaucoup ; ils sont indépendants des vagues, mais non des vents qui les augmentent ou les ralentissent, selon qu'ils vont dans le même sens ou en sens contraire.

La plupart des courants sont dus aux marées. Il y a d'abord des courants de flot et des courants de jusant ; il y a ensuite des courants particuliers sur les côtes, qui sont dérivés des courants principaux, et souvent modifiés par les accidents de ces côtes.

Il est nécessaire qu'un navire connaisse, outre la direction et la force des courants, la hauteur de la mer au point où il se trouve ; il faut savoir que le changement de direction des courants ne donne pas précisément l'heure de la haute mer à l'endroit où l'on est. Ainsi, dans la Manche, lorsqu'il y a courant de flot, on pourrait

penser que la mer monte toujours, tandis qu'au contraire le courant de flot continue longtemps après la mer haute et pendant que la mer baisse ; cela tient à ce que la marée, en se propageant de l'Océan dans la mer du Nord, s'élève plus dans la Manche que dans ces deux mers, et forme un point culminant entre Douvres et Calais.

Le courant continue à marcher vers la mer du Nord, bien que la mer ait déjà baissé d'une certaine quantité à Boulogne, à Calais et à Dunkerque. On a observé qu'à quelque distance de la côte le renversement du flot ne se fait quelquefois sentir que deux ou trois heures après la mer baissante.

Du courant principal se détachent des courants secondaires qui se dirigent sur les côtes et y occasionnent des remous et des contre-courants. Ce sont ceux-là qu'il importe le plus à l'ingénieur de connaître et d'étudier. La ligne qui sépare deux courants qui marchent en sens contraire est ce que les marins appellent la *molle eau* ; on l'appelle aussi *lime* ou *rondaine*.

Toute saillie ou renfoncement brusque dans le fond des atterrages ou sur les côtes, donne lieu à des tournoiements, à des changements de direction ; ces effets sont d'autant plus sensibles que la vitesse des courants est plus grande.

Les jetées produisent aussi un changement dans la direction des courants. Ainsi à Calais, à Boulogne, à Saint-Valery-en Caux, il se détache du courant principal des courants qui forment des remous derrière les jetées. Si, faute d'avoir pris les précautions nécessaires, un bâtiment manque le port, il est entraîné par le courant ; il risque alors de s'échouer et de se perdre. Il y a des cas où l'ingénieur peut disposer les ouvrages de manière à modifier les courants dangereux ; il y en a d'autres où il doit craindre de changer le régime des courants. Au Havre, par exemple, les jetées sont disposées comme l'indique la *fig*. 28, *Pl. IX*. Voici les courants qui se produisent : du courant principal de la Manche, se détache un autre courant produit par la pointe de la Hève ; il passe devant la jetée et se porte en Seine. Puis un troisième courant (dit Verhaule) entre dans le port. Les différentes sinuosités des jetées produisent encore des remous. Lorsqu'un navire veut aborder le port du Havre après avoir quitté le courant principal, il traverse la molle eau, puis se trouve au milieu du deuxième courant. On le voit alors dériver avec vitesse vers la Seine, et l'on croirait qu'il va se jeter sur les bancs qui sont à l'embouchure de cette rivière ; mais bientôt le courant de Verhaule le ramène et le dirige vers l'embouchure du port, où il est encore contrarié par les remous intérieurs. Pour vaincre ces obstacles, il est obligé de forcer de voiles. Tous les travaux qui tendraient à détruire ou à modifier le courant de Verhaule seraient donc très-nuisibles à la navigation, puisque c'est ce courant qui empêche les navires de dériver en Seine, et qui les ramène dans le port.

Puisque les navires doivent être animés d'une grande vitesse au moment où ils entrent dans le port du Havre, il a fallu ménager dans l'avant-port un développement suffisant pour que cette vitesse

fût amortie au moment où on arrive à la première écluse. C'est pour ce motif que l'on a fait un arrière-pont, ce qui permet aux bâtiments de perdre facilement leur aire en changeant de direction. Avant l'exécution de ces travaux, on avait conservé des bancs de vases où le bâtiment pouvait s'échouer momentanément sans danger.

### DES VENTS.

Les vents sont à la fois pour la marine des moteurs et des destructeurs : ils prennent leurs noms de ceux des quatre points cardinaux, combinés deux à deux ou trois à trois. Cette division ne suffisant pas, on a divisé la rose des vents en trente deux quarts ou rumbs de 11°,15'. La *fig.* 29, *Pl. VIII*, fait voir cette division. Les vents ont la plus grande influence sur les marées, sur le régime des côtes, et nous devons surtout les redouter pour l'entrée et la sortie des ports.

Il y a des vents constants, mais chez nous ils sont presque tous variables. Il importe aux ingénieurs de connaître les vents régnants, c'est-à-dire ceux qui soufflent le plus souvent dans chaque localité, parce que ce sont ceux contre lesquels ils doivent chercher à se garantir. Dans la Manche, la direction du vent régnant est O.-N.-O. ; sur les côtes de la Bretagne, O. et S. ; dans la Méditerranée, le vent régnant est le mistral, il souffle dans la direction O.-N.-O.

Les vents les plus violents sont généralement ceux qui, venant du large, suivent la plus grande ligne droite qu'on puisse tirer sur la mer, sans rencontrer d'obstacles à la propagation des vagues. Ainsi, à Saint-Jean de Luz, le plus grand vent est celui de N.-O., dont la direction prolongée ne rencontre de terre qu'à la baie d'Hudson; à la pointe sud de la Bretagne, le vent le plus fort est celui du S.-O., qui n'a rencontré aucune terre jusqu'à la Guyane.

**Ondes. Vagues. Lames.**— Lorsque la mer est unie, on dit qu'il y a calme plat ; si une légère brise s'élève, la surface des eaux se ride ; si le vent augmente, il se forme des oscillations régulières qu'on appelle des *ondes*. Lorsque le vent augmente encore, ces ondes deviennent des *vagues ;* alors le vent est assez fort pour faire un peu incliner ces ondes ; enfin, si le vent est suffisamment fort, les vagues s'élèvent assez pour ne pas pouvoir se joindre à la partie inférieure ; elles se brisent ; on dit alors qu'elles *déferlent,* et les eaux tombent en faisant une espèce de mousse blanche. Dans ce moment, on dit que la mer *moutonne*, parce qu'elle est couverte de parties blanches. Les *lames* des tempêtes sont encore plus fortes ; dans les coups de vent, ces lames ont un très-grand développement et une très-grande hauteur. Lorsqu'elles rencontrent des obstacles, elles atteignent une hauteur considérable. Lors de la construction de la jetée de Fécamp, les lames se sont élevées à 10 mètres audessus, et ont enlevé une partie des maçonneries. Ces effets heureusement sont rares ; néanmoins ils se présentent encore assez souvent pour qu'on prenne toutes les précautions possibles pour éviter de fortes avaries.

Lorsqu'après avoir produit ces grandes lames, la mer se calme et revient à peu près dans l'état primitif, on dit qu'il y a de la *houle*. Si le vent change, il se produit des vagues en sens contraire, et aux intersections des vagues anciennes avec les nouvelles, il se forme une espèce de bouillonnement blanc. On dit alors qu'il y a *clapotage*.

## RADES.

Une rade est un espace où les bâtiments peuvent s'abriter, mouiller, appareiller. Un bâtiment mouille lorsqu'il jette son ancre. Un bâtiment appareille lorsqu'il fait ses préparatifs pour partir, déploie ses voiles, lève ses ancres, etc.

La rade précède généralement un port. On distingue plusieurs sortes de rades : une rade foraine est celle qui n'est pas fermée du côté de la mer : telles sont, par exemple, les rades de Dunkerque, du Havre, etc. Une rade peut être fermée par la nature ou par l'art; le plus souvent elle est abritée tout à la fois par la nature et par l'art. Brest offre un exemple d'une rade fermée par la nature seulement. Cherbourg a une rade fermée par la nature du côté de la terre, et du côté de la mer par une digue construite de main d'homme.

Une rade de relâche ou de refuge est celle qui n'a pas de port en arrière. Ces rades sont utiles en temps de guerre pour échapper à l'ennemi; dans les tempêtes, pour s'y réfugier, et enfin pour y attendre des vents et des marées favorables.

Les rades de quarantaine sont spécialement destinées à recevoir des bâtiments en quarantaine. La quarantaine ne dure pas toujours quarante jours, mais un temps plus ou moins long, suivant la décision de la commission sanitaire chargée d'examiner la patente du bâtiment, et l'état dans lequel s'est trouvé l'équipage pendant la traversée.

Dans la Méditerranée on relâche seulement pour attendre un bon vent ou une mer plus tranquille : les rades de l'Océan servent, en outre, pour attendre l'heure de la marée ou des marées plus fortes. Il n'y a pas de bon port sans rade, cependant tous nos ports n'ont pas de rades.

**Qualités d'une bonne rade.** — Une bonne rade doit être bien abritée, surtout des vents les plus violents; elle doit aussi être bien défendue. L'entrée et la sortie des bâtiments doivent pouvoir s'y faire avec facilité. On doit y trouver une hauteur d'eau suffisante, et cependant pas trop grande, parce qu'alors la rade deviendrait plus agitée, et le mouillage exigerait plus d'espace. La hauteur d'eau doit être telle, que par le gros temps le navire, se trouvant dans le creux d'une vague, ne soit pas exposé à talonner. On compte qu'il faut pour les vaisseaux de premier rang 20 à 25 mètres. On dit qu'une rade a un petit brassiage lorsqu'elle n'a que 10 mètres. Quand elle a 65 mètres, on dit qu'elle a un grand brassiage. Quand elle a de 12 à 24 mètres, elle a ce qu'on appelle un bon brassiage; c'est celui qui est le plus à désirer. Les abords de la rade

doivent être apparents et assez évidents pour que de loin on puisse les reconnaître.

L'établissement d'une rade donne lieu à la construction de môles, de digues, de brise-lames.

**MOLES. — DIGUES. — BRISE-LAMES.**

Ces trois mots sont synonymes, lorsqu'ils désignent les ouvrages construits en avant des rades ou des ports pour y produire le calme. En rétrécissant leurs entrées, ils empêchent la propagation de l'agitation extérieure vers l'intérieur, et diminuent l'action du vent sur la surface intérieure.

Dans les ports de la Méditerranée, on appelle aussi môles les ouvrages qui ferment les darses, les bassins, ou qui servent de quais en même temps que d'abris. Ces môles ont beaucoup d'analogie avec les jetées des ports de la Manche et de l'Océan.

Les môles sont continus ou discontinus : les môles continus consistent tout simplement en une digue construite à pierres perdues; les môles discontinus se composent d'une digue à pierres perdues sur laquelle sont élevées des piles réunies par des arceaux. Le terre-plein formé par ces arceaux est au-dessus du niveau de la mer et forme abri.

Voici quelle était la disposition générale des ports anciens : deux môles enracinés à la terre s'avançaient vers le large, et laissaient entre eux une passe. Souvent un troisième môle placé en avant venait couvrir l'intervalle compris entre les premiers môles et formait ainsi deux passes.

Si l'on compare ces constructions avec celles que nous faisons maintenant, on remarquera qu'au lieu d'un système aussi grandiose, mais aussi coûteux, les entrées de nos ports sont formées par des jetées ou des môles qui sont continus, lissés, courbes, et qui laissent souvent entrer les vagues librement. Aussi ces entrées laissent-elles beaucoup à désirer. C'est souvent au port que l'on fait naufrage, à cause des obstacles que les navires y rencontrent.

**Fort Boyard.** — La rade de Rochefort, à l'embouchure de la Charente, est abritée par les îles d'Aix et d'Oléron qui laissent entre elles une distance de 6 à 7 kilomètres. Les feux ne peuvent se croiser que difficilement : aussi, pendant les guerres de l'Empire, des brûlots anglais pénétrèrent dans la Charente et y firent de grands ravages. Pour compléter la défense de ces côtes, Napoléon Ier ordonna la construction d'un fort sur le banc Boyard à une distance de 3 000 mètres de la côte d'Oléron. Les premiers travaux, commencés en 1802, consistaient en enrochements à pierres perdues; les matériaux étaient de dimensions variables, cependant on parvint à échouer un bloc de 14 mètres cubes. En 1807, l'enrochement dépassait la basse mer de vive eau, et on commençait en 1808 à établir une première assise de maçonnerie construite en chaux peu hydraulique et en pouzzolane. Au mois de février une tempête vint bouleverser cette assise et arraser l'enrochement. Le bloc de 14 mètres cubes seul ne fut pas déplacé (*fig.* 30, *Pl. VIII*).

Les travaux du fort Boyard, abandonnés pendant très-longtemps, furent repris en 1842. Les progrès de la marine à vapeur exigeaient que cette passe fût mise à l'abri d'une surprise. A la reprise des travaux on fit des profils pour reconnaître l'état des choses, et l'on vit que de chaque côté les enrochements avaient pris un faible talus, que les varechs y avaient poussé; on pensa donc qu'il y avait équilibre.

Le sommet des anciens enrochements était de forme très-irrégulière; quelques parties découvraient aux basses mers de vive eau; d'autres étaient à 1 mètre et plus au-dessous de ce niveau (*fig.* 31, *Pl. IX*). Il s'agissait de bâtir sur cet emplacement une couche de maçonnerie d'arasement; la plus grande difficulté était de remplir les cavités qui ne découvraient jamais. Pour cela on a divisé ces cavités en cases de 2, 3 ou 4 mètres de côté. Ces cases étaient faites avec de petits sacs en toile remplis de béton que l'on disposait de manière à en former un petit mur; puis quand on avait formé une case, on remplissait l'intervalle en béton hydraulique et on recouvrait le tout d'un ciment hydraulique, lequel faisant prise immédiatement préservait la construction inférieure de la première action de la mer.

A la marée suivante, on faisait une autre case, et on a fini par remplir toutes les cavités. Ce moyen a parfaitement réussi, la toile des sacs disparaissait au bout de quelque temps, et les cases formaient une masse continue qui a résisté à plusieurs tempêtes.

Ce que l'on devait élever ensuite, se découvrait à basse mer; on a suivi pour l'exécuter un moyen analogue. On a construit en moellons et mortier hydraulique de petits murs de $0^m,90$ à $1^m,20$ d'épaisseur, selon leur hauteur et leur position par rapport à la base. Ces petits murs formaient des cases que l'on remplissait en béton, composé de deux parties de pierrailles et d'une partie de mortier hydraulique. Aussitôt après le remplissage d'une case, on la recouvrait d'une tranche de moellons plats avec ciment hydraulique. De cette manière les cases se prêtent un mutuel appui, il n'y a jamais rien d'inachevé, chaque portion de maçonnerie est bien enfermée, et ne présente plus à la mer aucune prise.

La maçonnerie du socle est élevée à 2 mètres en retraite des bords de la couche d'arasement. Elle est parementée en grosses pierres de granit appareillées en carreaux et boutisses, ayant en dimension depuis $0^m,70$ jusqu'à 2 mètres sur $0^m,58$ de hauteur. On les pose avec mortier de ciment hydraulique. L'intérieur de chaque assise est divisé en cases que l'on remplit de béton comme pour la couche d'arasement; mais les cases sont plus grandes à mesure qu'on s'élève, parce qu'on a plus de temps pour les remplir. Lorsque ces assises verticales ont été élevées sur une certaine hauteur, la mer venant frapper contre le parement vertical a produit l'effet du ressac. Retombant sur les enrochements, la vague en enlevait une portion; pour empêcher la mer d'affouiller davantage l'enrochement au pied des maçonneries, on les a entourées de trois rangées concentriques de blocs de béton, placés le plus près possible les uns des autres. Ces blocs ont 4 mètres de longueur, $2^m,50$ de largeur et

et $1^m,50$ de hauteur; ils cubent par conséquent 15 mètres et pèsent 35000 kilogrammes. Malgré la difficulté de leur bon arrangement, on est parvenu à les placer avec presque autant de régularité que si l'on eût fait un dallage.

La base du fort est un massif de maçonnerie entièrement plein; elle s'élève jusqu'à 2 mètres au-dessus des plus hautes marées.

**Môles de la Méditerranée.** — Dans la Méditerranée on emploie pour la construction des môles à peu près le même système que dans l'Océan; cependant comme on n'a pas de marées, toutes les constructions doivent être en contre-bas de l'eau; cela peut présenter quelques difficultés de plus, mais il faut ajouter qu'en général la mer y est moins mauvaise que dans l'Océan.

### DÉTAILS SUR LE MODE DE CONSTRUCTION DES MOLES.

**Tracé.** — Le tracé d'un môle doit être déterminé par une foule de considérations : l'entrée et la sortie du port doivent être dans une direction qui les rendent faciles par les vents régnants. Il faut étudier le gisement de la côte pour coordonner le môle avec ses formes; reconnaître la profondeur d'eau des différents points de la rade, pour n'avoir pas à construire dans de trop fortes hauteurs d'eau.

Les courants constants, ceux de flot et de jusant doivent aussi être observés, ainsi que la direction des lames par les vents régnants.

Enfin il faut surtout porter son attention sur les atterrissements, leur marche, leur importance. On devra encore combiner avec la défense de la côte la question de savoir si les môles seront continus ou discontinus; s'ils seront enracinés à la côte ou isolés. Il faut à cet égard consulter les officiers du génie. On a vu par l'exemple du port du Havre, du port de Cette, etc., l'influence d'un môle placé de telle ou telle manière. Il est difficile de satisfaire à toutes ces conditions, de les concilier; cependant cela n'est pas impossible, si l'on consulte les marins de la localité, les officiers de terre et de mer : ils peuvent souvent donner des renseignements précieux.

**Procédés d'exécution.** — Les môles peuvent se faire en blocs naturels ou en blocs artificiels : le plus souvent on se sert des uns et des autres; dans les deux cas on commence par tracer exactement le périmètre du môle avec des bouées ou des balises.

Quand on se sert de blocs naturels, il faut reconnaître les carrières qui fourniront les meilleurs matériaux. Il faut préférer les pierres dures. On les amène de la carrière au bord de la mer, et de là elles sont transportées au point d'immersion sur des bâtiments à voile ou remorqués.

Pour éviter le ressac, il faut avoir soin de déposer les blocs par tranches successives et horizontales, et pour parer aux affouillements, il faut en garnir de suite toute la base du môle. Quand la digue est assez avancée pour que les bâtiments ne puissent s'en approcher sans toucher, on dépose à partir du rivage les enrochements sur une ligne que l'on élève au-dessus du niveau de l'eau; on y établit un chemin de fer, et l'on part de là en avançant toujours devant

soi, à peu près comme on fait un terrassement. Si le môle est isolé, on jette les blocs de dessus le bâtiment, ou bien on les lance au moyen de plans inclinés à l'endroit qu'ils doivent occuper. Sur l'Océan c'est plus facile, parce qu'on peut profiter des hautes mers pour les débarquer, et on attend la mer basse pour les régaler convenablement.

Quand on se sert de blocs artificiels, il faut d'abord choisir sur le rivage un emplacement favorable à la fabrication des blocs et du béton. Pour le béton il faut installer des machines qui en fournissent en quantité suffisante pour fabriquer les blocs ; on dépose sur une aire bien dressée et couverte de sable quatre panneaux à charnière qui se détachent après la construction de chaque bloc, et on remplit de béton l'espace qu'ils comprennent entre eux.

Afin de pouvoir passer les chaînes qui doivent retenir ces blocs dans les manœuvres qu'ils subiront, on ménage à leur face inférieure deux rainures de $0^m,12$ sur $0^m,12$ au moyen de petits moules en bois. Au bout de huit jours en été et de quinze jours en hiver, ces blocs ont fait prise et sont dépouillés de leur enveloppe; on attend un mois ou deux en été et trois mois en hiver avant de les mettre à l'eau. Pour procéder à l'immersion, il faut soulever, puis transporter le bloc. Seize hommes agissant sur des verrins le soulèvent avec la machine (*fig.* 32, *Pl. VIII*) à $0^m,50$ au-dessus du sol. Un petit wagon est alors placé sous ce bloc, il est mis en mouvement sur un chemin de fer et conduit au lieu d'embarquement. On a eu soin de mettre sur le chariot deux planches solidaires avec le bloc et qui sont suiffées sur la face qui touche le chariot. Arrivé sur le bord de la mer, on fait descendre le tout sur une cale flottante qui, par le poids du bloc et de son chariot, vient s'appuyer sur une autre cale fixe inclinée au sixième (*fig.* 33, *Pl. IX*).

On les y retient à une hauteur telle qu'on puisse placer à côté du bloc deux tonnes de $0^m,50$ de longueur et $2^m,40$ de diamètre. Ces flotteurs sont unis par une charpente à laquelle on attache deux chaînes qui saisissent le chariot à l'avant et à l'arrière. De plus une autre chaîne entoure le bloc sur les côtés et sur la face inférieure et l'empêche de glisser.

Alors, laissant achever de descendre le chariot et le bloc sur la cale, et tirant le système au large, il se trouve à flot, soutenu par les tonnes, et on peut remorquer le bloc et le chariot ainsi inclinés jusque sur l'enrochement.

La chaîne-ceinture est formée de deux parties réunies par une clavette devant la face la plus basse du bloc, de sorte que celui-ci, n'étant plus retenu quand on retire la clavette, glisse sur le chariot, entraînant les planches suiffées, et s'échoue.

Dans les travaux du fort Boyard, on a fabriqué sur la côte de l'île d'Oléron des blocs de béton de 15 mètres cubes; leurs dimensions sont 4 mètres sur $2^m,50$ et $1^m,50$. Construit sur un chemin de fer, ils étaient soulevés par quatre verrins de $0^m,07$ de diamètre placés sur un chariot à 6 roues et conduits dans le chenal de la Perrotine. Là, ils étaient pris par un appareil flotteur (*fig.* 34, *Pl. IX*), composé de deux tonnes, d'un échafaud avec planches et de quatre

treuils. Un bloc suspendu par les chaînes des treuils se trouve placé entre les deux tonnes contre lesquelles il est fortement pressé au moyen de coins fixes D et des coins mobiles B; il est en outre bridé par une chaîne passant en dessous dans le sens de sa longueur et roidie par de petits palans fixés à la charpente.

D'un autre côté les tonnes sont maintenues dans les angles de l'échafaud par des cordages qui les enveloppent.

Le bloc est donc saisi entre les tonnes avec lesquelles il forme un seul système, et les oscillations dans le transport sont peu sensibles.

L'appareil d'un bloc immergé cale environ $1^m,60$ jusqu'au-dessous des tonnes et du bloc.

Un bateau à vapeur de la force de 80 chevaux remorque deux blocs à la suite l'un de l'autre et marchant perpendiculairement à leur longueur, sens dans lequel la résistance est moindre, à cause de la forme arrondie des tonnes faisant proue.

Lorsque la mer est calme, on les place à peu près où l'on veut. On est parvenu à placer quelques blocs en contact, mais la plupart sont espacés de $0^m,20$ à $0^m,50$, et quelquefois de $0^m,80$.

A Cherbourg, on emploie pour les blocs du musoir des chalands au lieu de tonnes, et on file les chaînes d'amarres pour les échouer à l'endroit convenable.

**Grosseur des blocs.** — On a employé au môle d'Alger successivement des blocs de grosseurs différentes, cubant les uns 12 mètres cubes, d'autres $12^{mc}75$ et d'autres 15 mètres cubes. Ce sont ces derniers qui sont maintenant usités. Des blocs de 10 mètres cubes placés sur la grande jetée à 4 mètres au-dessus de l'eau ont été poussés à 8 mètres de distance; c'est ce qui a fait porter le cube à 15 mètres cubes.

L'action de la mer ne s'exerçant pas au-dessous d'une certaine profondeur, on avait proposé, dans un but d'économie, d'employer à Alger des blocs naturels jusqu'à 7 mètres en contre-bas de l'eau, et de les recouvrir de gros blocs artificiels. Mais le conseil, voulant avoir toute sécurité, décida que tout serait construit en gros blocs.

Cependant dans le dernier projet où les môles ont été faits dans des profondeurs qui vont jusqu'à 30 mètres, il fut décidé que l'on n'emploierait les blocs artificiels qu'à partir de 12 mètres au-dessous de la basse mer.

## DES JETÉES.

Jusqu'à présent nous ne nous sommes occupé que des ouvrages extérieurs des ports : les jetées sont à la fois à l'extérieur et à l'intérieur. Si nous considérons une plage plus ou moins inclinée, si l'on veut y établir un port, il faudra commencer par faire une tranchée pour ouvrir un chenal qui conduira de la mer au port. Dans les ports à marée, ce chenal est creusé entre les laisses de basse mer et de haute mer ; il est bordé de jetées ou d'ouvrages conservant ses talus et les défendant contre les alluvions.

Les jetées sont plus ou moins longues, selon que le talus de la

plage est plus ou moins allongé. Lorsqu'on a des plages à galets, le talus de la plage est assez roide; quand, au contraire, on a à faire une jetée sur une plage de sable, il y a une grande distance entre le sommet des talus et la laisse de basse mer; cette surface s'appelle l'*estran*.

La profondeur des jetées est variable suivant la destination du port, selon qu'il doit recevoir des navires d'un tonnage plus ou moins fort. La hauteur des jetées dépend surtout de la hauteur qu'atteignent les marées.

La profondeur du chenal ne peut guère aller au delà de 2 mètres en contre-bas de la basse mer de vive eau, parce que la puissance des chasses ne peut pas procurer une plus grande profondeur.

Ainsi les jetées bordent le chenal, protégent l'entrée des navires et servent au halage.

Dans la Méditerranée, les ouvrages qui facilitent l'entrée des ports sont plutôt des quais que des jetées. Comme il n'y a pas de marées, l'exécution des maçonneries sous l'eau ne peut avoir lieu que par épuisements. Dans l'Océan, au contraire, on peut fonder les jetées à marée basse et ensuite les élever en profitant des marées.

La direction des jetées dépend de la position du port et surtout des vents régnants. Il faut tâcher que le port soit le plus possible garanti de l'effet des vagues et de la marche des alluvions.

Avant de parler de l'entrée d'un port, nous allons définir la marche d'un navire suivant la direction du vent.

Lorsque le vent est dans la direction d'un bâtiment (*fig.* 35, *Pl. IX*), on dit que l'on a vent en poupe ou vent en arrière.

A partir de cette direction jusqu'à celle qui fait avec elle un angle de 11°15′, on a encore vent arrière.

Entre cette direction et 45 degrés, on dit qu'on a vent largue; enfin lorsque le vent dépasse cette limite jusqu'à ce qu'il atteigne 67°30′, on dit que l'on est au plus près. Pour marcher contre un vent faisant un angle de 67°30′ avec la quille, voici comment on s'y prend (*fig.* 36, *Pl. IX*). On oriente la voile *ab* de manière qu'elle fasse avec la quille un angle de 30 degrés. Il est alors facile de voir que la force V du vent se décompose en deux, l'unité V′ perpendiculaire à la voile qui produit seule un effet, et une force *b* dans le sens de la voile.

La force V′ se décompose elle-même en deux autres; l'une V″ perpendiculaire à la quille et qui fait dériver le navire; l'autre Q dans le sens de la quille, et qui fait marcher le navire de l'avant.

Il n'est pas indifférent de disposer le chenal dans une position ou dans une autre par rapport aux vents régnants. Il faut que sa direction soit telle que la marche du navire soit possible et facile.

Il y aurait de graves inconvénients à mettre la jetée dans la direction des vents régnants, et cela par plusieurs raisons:

1°. Parce que les lames entrant directement par les jetées se propageraient jusque dans le port et viendraient fatiguer les navires.

2°. Les navires entrant vent arrière ou grand large ont une grande vitesse, et si le chenal n'a pas une longueur considérable, ils sont exposés à venir se briser contre des obstacles.

3°. Les vents étant dans la direction du chenal, la sortie des navires est très-difficile; il faut les haler, de plus il est difficile d'appareiller au moment où l'on quitte le port.

La direction la plus avantageuse est celle de 45 degrés par rapport aux vents régnants. L'angle de 67°30′ est la limite qu'il ne faut pas dépasser.

La longueur des jetées varie avec la pente de la plage. L'estran des plages en galets est beaucoup plus court que celui des plages en sable.

Lorsque les jetées ont une certaine longueur, les navires animés d'une grande vitesse pour entrer dans le port peuvent alors prendre leur aire avant d'arriver au fond du port. Il en résulte d'ailleurs plus de calme dans le port. Mais il ne faut pas que cette longueur dépasse certaines limites; ainsi à Dunkerque et à Dieppe, on ne peut pas toujours entrer dans le bassin de la même marée. La mer baissant, le navire s'échoue; et si c'est un navire fin, il peut se briser.

Les jetées doivent être de longueur inégale; celle qui est au vent doit être plus longue que celle qui est sous le vent.

La jetée qui est au vent est celle qui est directement opposée au vent régnant; celle qui est de l'autre côté est sous le vent. La plus longue jetée se trouve ainsi du côté des alluvions et fait épi; cette disposition facilite en outre l'entrée et la sortie. En effet, les navires entrant peuvent au moyen d'un coup de barre s'abriter plus tôt par la jetée; en outre, ceux qui manquent l'entrée peuvent se relever sans aller tomber sur l'autre jetée. Les navires qui sortent du port et qui se font haler jusqu'à l'extrémité de la jetée peuvent appareiller sans risquer de heurter la jetée sous le vent.

**Forme en plan.** — La forme des jetées paraît devoir être courbe pour deux raisons. D'abord par cette disposition le courant des chasses acquiert une certaine force centrifuge qui le pousse contre le dépôt formé ordinairement à l'extrémité de la jetée qui retient les alluvions. Il en résulte aussi que l'intérieur du port est garanti de l'action immédiate des vents du large, de quelque direction qu'ils viennent. La courbe d'une jetée peut être continue ou suivant un contour polygonal. Lorsque les jetées sont en ligne courbe continue, les vagues se propagent beaucoup plus facilement jusque dans le fond du port, sans avoir perdu de leur force. Cet inconvénient des surfaces courbes maçonnées paraît avoir été connu des anciens constructeurs; car on peut remarquer que les anciens môles de la Méditerranée ont tous une forme polygonale. Mais, d'un autre côté, si les angles sont trop aigus, les vagues peuvent se réfléchir d'une jetée à l'autre, ce qui fatigue les navires. On voit donc par les inconvénients de chaque système qu'il est difficile d'indiquer un précepte absolu; cependant on peut dire qu'en général il est préférable d'adopter la forme polygonale, mais à angles obtus.

**Distance entre les jetées.** — La distance entre les jetées varie suivant la destination et la fréquentation du port. Il faut que trois navires sous voiles puissent se croiser entre les jetées. On satisfait à ces conditions en donnant au chenal une largeur de 30 à

50 mètres pour les ports de cabotage, une largeur de 50 à 70 mètres pour les ports de long cours, et une largeur de 70 à 100 mètres pour les ports militaires.

Cette largeur doit augmenter du côté de la mer, parce que cela facilite l'entrée du port; mais, d'un autre côté, lorsque les chasses arrivent à l'extrémité des jetées, elles s'épanouissent et perdent beaucoup de leur efficacité.

Depuis l'introduction de la marine à vapeur on a surtout senti les inconvénients d'un chenal trop étroit. Les bateaux à vapeur, avec leurs roues et leurs tambours, exigent plus d'espace. Aussi au port du Havre a-t-on été obligé de couper la saillie d'une tour qui obstruait l'entrée du port, afin d'augmenter la largeur entre les jetées, qui, en ce point, n'était que de 45 mètres. Mais en supprimant cette saillie, qui empêchait les lames de se propager jusque dans le port, il pouvait en résulter une agitation que l'on a prévenue en construisant des claires-voies.

**Hauteur des jetées.** — La hauteur des jetées doit varier suivant les localités. Il faut que le sommet de la jetée soit au-dessus des hautes lames ordinaires. Dans l'intérieur du chenal il suffit de l'élever de 2 mètres à $2^m,50$ au-dessus des hautes mers de vive eau; mais pour les musoirs qui sont plus exposés à l'action de la mer, leur hauteur doit être plus grande. On rachète cette différence de niveau de plusieurs manières. Autrefois on mettait des marches; mais maintenant, partout où on l'a pu, on les a remplacées par des plans inclinés. Quand les raccordements ne sont pas trop roides, ils sont plus commodes pour les haleurs, et en général pour toutes les manœuvres de nuit.

**Mode d'exécution des jetées.** — Les jetées se construisent: 1° en fascinages; 2° en enrochements; 3° en charpente à coffrage; 4° en charpente mi-coffrée; 5° en charpente et fascinages; 6° en charpente à claire-voie; 7° en charpente bordée dans le bas; 8° en maçonnerie et charpente; 9° en maçonnerie à pierres sèches ou à mortier, avec ou sans claire-voie.

### CLAIRES-VOIES. — BRISE-LAMES.

Les courbures et les lignes brisées des jetées pleines ne sont pas toujours suffisantes pour rompre les lames. Les vagues du large se propagent dans le chenal et viennent souvent fatiguer les navires. Dans ce cas, on a imaginé de faire des claires-voies, c'est-à-dire d'interrompre de distance en distance les jetées pleines, et de les continuer dans les intervalles par des estacades en charpente: les lames passent d'une partie étroite du chenal dans une autre plus large, s'y étendent et diminuent de hauteur. Derrière ces ouvertures, on établit des plans inclinés sur lesquels s'étendent les lames comme sur la plage, et où elles usent une partie de leur force.

Il y a des brise-lames continus et d'autres qui sont séparés par des pilastres en maçonnerie. Il y a plusieurs manières de disposer ces brise-lames. Les avis sont partagés sur la question de savoir si l'on doit les disposer de chaque côté du chenal vis-à-vis l'un de

l'autre, de manière que la lame vienne s'épanouir à la fois de chaque côté, ou bien si l'on disposera les pilastres vis-à-vis les pilastres. Cependant, il semble préférable de placer une claire-voie vis-à-vis un pilastre. La lame est plus contrariée, son uniformité est rompue, et on empêche ainsi sa propagation suivant l'axe du chenal.

Si les parties vides d'une claire-voie sont trop considérables, les lames y passent trop facilement, et après avoir cheminé sur les plans inclinés, elles peuvent revenir dans le chenal et y produire une agitation et un ressac gênants pour les navires. Si, au contraire, il y a trop de parties pleines, la lame n'est pas assez rompue, et la claire-voie ne produit pas tout l'effet qu'on en attend. La meilleure disposition est de faire en sorte qu'il y ait un tiers de plein, et deux tiers de vide. Ce qu'il y a de plus important, c'est la manière dont on doit disposer le plan incliné sur lequel doit se développer la lame. Ce plan, placé derrière la claire-voie, est incliné de $0^m,05$ à $0^m,10$, et doit se prolonger assez pour que la lame puisse s'y amortir entièrement.

## RISBERME.

Le pied des jetées peut être attaqué par la mer, par les courants, par les chasses. L'ouvrage qu'on établit pour les défendre s'appelle *risberme*.

Les risbermes peuvent être construites de différentes manières, mais dans tous les cas il faut qu'elles soient disposées de façon que la quille du bâtiment ne touche pas quand il accoste la jetée. Les risbermes peuvent être en enrochements ou en charpente. Pour éviter les affouillements dans la risberme, on peut draguer dans l'emplacement qu'elle doit occuper, et couler du béton entre les deux parements en charpente. On peut aussi mettre des enrochements dans l'enceinte formée par la charpente; on peut enfin établir une risberme en tunages et fascinages.

Le dallage qui forme l'assise de recouvrement de la jetée doit être fait avec soin, parce que l'action de la lame qui déferle souvent sur une jetée pourrait la dégrader. Il doit être fait en pierres très-dures, en granit autant que possible, afin de résister davantage à l'action et à l'usure d'une grande circulation d'individus.

Si l'on mettait le parapet dans le prolongement du parement, les navires qui accostent la jetée pourraient l'enfoncer. Il convient donc de le mettre en retraite de $0^m,10$ sur le parement, et de supprimer l'angle saillant, en arrondissant la dernière pierre du parement.

## MURS DE QUAI.

Les jetées conduisent à l'avant-port où les bâtiments échouent et débarquent leurs cargaisons.

L'avant-port est entouré de murs de quais: on peut les construire de différentes manières: 1° en fascinages; 2° en bois, alors ce sont les estacades; 3° en métal; 4° en maçonnerie.

Les quais en fascinages ne doivent s'employer que dans les ports

peu importants et où le bois et la pierre seraient trop chers. Mais les fascinages s'emploient avec beaucoup d'avantage pour les réparations provisoires, par exemple pour prévenir de nouvelles avaries dans le cas où un mur vient à s'écrouler. Mais ce ne peut être un système de construction permanente.

**Estacades.** — Les estacades doivent résister autrement que les jetées. L'effet principal vient du côté des terres dont elles devront soutenir la poussée. Les pièces de rive devront donc être accrochées solidement aux pieux de retenue. Ce système paraît d'abord économique ; mais les dépenses d'entretien, qui sont bientôt inévitables, le rendent fort coûteux.

Voici, comme premier exemple, une estacade qui a été construite à Dunkerque par Bélidor (*fig.* 37, *Pl. IX*). Elle consiste en un grand pieu de rive et deux pieux de retenue reliés avec le pieu de rive par un énorme tirant formant moise. Le triangle est complété par une grande contre-fiche ; ce triangle étant très-long, on l'a consolidé au moyen de deux autres pieux intermédiaires. Comme c'est la contre-fiche qui doit soutenir une partie de l'effort exercé sur la pièce de rive, un tirant en fer relie ces pièces et vient entourer une lierne placée en avant. Le même système a été adopté pour la moise inférieure. Ces ferrures sont mal disposées : le fer ainsi contourné perd une grande partie de sa force. Ce système, du reste, est très-coûteux et offre de trop grandes saillies.

La *fig.* 38, *Pl. IX*, représente la forme donnée par M. Frissard au revêtement des digues de l'Eure (Havre). Ce système élémentaire convient très-bien pour une petite hauteur.

L'estacade du Tréport, construite par M. Bérigny, est un des meilleurs types pour les grands quais en bois. Il est très-souvent employé (*fig.* 39, *Pl. IX*).

**Métal.** — En Angleterre, on a souvent construit des quais en métal. Le prix élevé de la fonte et du fer, et leur peu de durée dans l'eau de mer, empêchent d'établir en France des quais semblables.

**Quais en maçonnerie.** — La plupart des quais d'avant-port sont en maçonnerie ; leur mode de construction diffère dans l'Océan et dans la Méditerranée.

Dans la Méditerranée, on fonde sur enrochements à pierres perdues : ici il n'y a plus besoin de blocs artificiels de forte dimension. Ces enrochements s'élèvent jusqu'à 1 mètre en contre-bas de la basse mer : on peut alors en coulant du béton, ou en immergeant des sacs de béton, arriver au niveau de la basse mer et construire au-dessus le couronnement. Si les enrochements sont calcaires, on peut battre des pieux à travers ces enrochements, et donner une enceinte jointive dans laquelle on coulera du béton.

Le canal de jonction de l'ancien port avec le nouveau, à Marseille, offre un exemple de quais en béton. Ce quai est construit très-simplement ; l'encaissement est fermé par des pieux jointifs reliés en haut et en bas par des moises. On a rempli l'intérieur en béton ; les quais de l'ancien port ont été construits à peu près dans le même système, et après la prise du béton, on a pu enlever la paroi extérieure.

Dans l'Océan, le port s'emplit et se vide à chaque marée. Les quais sont fondés à mer basse.

On a souvent à établir des quais sur un fond de vase : quelquefois la profondeur de cette vase est indéfinie ; ainsi il peut arriver que des pieux de 12 mètres n'atteignent pas le terrain solide. D'autres fois, la vase est semi-fluide, et on ne peut même plus compter sur le frottement des pieux pour résister au poids des maçonneries. Un premier moyen de résoudre la difficulté serait d'établir un grillage sur une grande surface. De cette manière, la pression des maçonneries, étant supportée par une base plus grande, ne produirait qu'un enfoncement peu considérable et qui s'arrêterait bientôt. Ce procédé inspire peu de confiance. Il vaudrait mieux, comme on l'a fait à Nantes, faire reposer les murs de quais sur une grande plate-forme en sable.

On peut encore construire sur pilotis en consolidant les pieux de certaines manières ; ainsi on peut former une enceinte de pieux jointifs en avant, et les relier par des moises, battre des pieux isolés dans l'intérieur, déblayer la vase entre ces pieux, la remplacer par des enrochements et couler une couche de béton par-dessus. Ce béton, encastrant les pieux, fera l'effet d'une plate-forme. Ou bien, au lieu de cette plate-forme en béton, on peut établir un grillage à jour et couler du béton dans les vides et au-dessus.

Quand le terrain de vase est peu résistant, le système tend à se renverser. Pour s'y opposer, on est obligé d'avoir des pieux de retenue réunis à la fondation par des moises formant tirant. Ce mode de retenue n'est pas toujours suffisant, parce que les tirants se brisent sous le poids considérable qu'ils supportent. On établit alors des cadres de liaison, ou même on fait une plate-forme en charpente en arrière, en ayant soin de ne pas placer les bordages jointifs, afin que la vase qui est au-dessus puisse combler les vides qui se formeraient au-dessous.

On pourrait aussi, au lieu de bordages, mettre des fascines : par ce moyen, une large plate-forme supporte la pression de la vase et empêche qu'elle ne se propage sous les murs de quais. On pourrait encore employer un système de caissons.

Parmi la série des combinaisons que nous venons de passer en revue, le système à préférer varie avec la nature du terrain. Plus il sera mobile, plus on devra prendre de précautions pour éviter le renversement du mur.

**Epaisseur.** — Les murs de quais d'avant-port ont à résister au choc des navires et des vagues, à la charge des marchandises, à l'action alternative des eaux, tantôt hautes, tantôt basses, et à la poussée des terres. On peut chercher par le calcul l'épaisseur à donner à ces murs ; mais, pour des travaux à la mer, il vaut mieux s'en rapporter à l'expérience. Or il résulte de ces mêmes expériences qu'il convient de ne pas adopter une épaisseur moyenne inférieure aux 0,45 de la hauteur du mur à construire ; et même, si on avait à craindre une poussée considérable, on devrait la porter à 0,50 de la hauteur. On doit faire attention que l'augmentation de la dépense qui en résulte n'est pas considérable, puisqu'elle porte sur la maçonnerie

de remplissage, qui est la moins coûteuse. Cette augmentation de dépense est souvent une économie pour l'avenir.

**Terre-pleins.** — La largeur des quais doit être d'au moins 20 mètres, pour que la circulation soit facile et que les marchandises en chargement ou en déchargement ne les encombrent pas.

## RÉGIME DES COTES.

L'examen des côtes de France prouve que sur plusieurs points la mer avance dans les terres, que sur d'autres elle est à peu près stationnaire, et qu'enfin ailleurs c'est la plage qui repousse la mer. Les ouvrages qu'on établit à l'entrée des ports apportent souvent des perturbations dans la marche naturelle des alluvions littorales. Il est donc nécessaire d'étudier le régime des côtes, d'observer comment se forment les alluvions, afin de savoir quelles précautions il convient de prendre pour préserver le port de leurs envahissements.

Examinons d'abord les effets qui se produisent dans la Méditerranée.

Les fleuves qui se jettent dans la Méditerranée ont des pentes plus rapides que les fleuves de l'Océan; ils y portent les sables et les vases qu'ils charrient, et qui se déposent quand les eaux du fleuve n'ont plus la vitesse suffisante pour les tenir en suspension. Si le fleuve débouche dans une eau tranquille, le dépôt sera symétrique. Mais deux causes viennent toujours modifier la forme des ensablements : ce sont les courants littoraux et les vents régnants.

A l'embouchure d'une rivière, son cours et celui du courant littoral se combinent en raison des volumes d'eau et des vitesses; il se forme un remou à l'aval de l'embouchure, et les troubles tenus en suspension dans les eaux de la rivière se déposent. Si le courant vient de droite, l'ensablement est à gauche (*fig.* 40, *Pl. X*).

Dans une lagune ou une baie le contraire se produit, c'est-à-dire que le courant littoral venant de gauche produit des atterrissements de ce côté; il pénètre dans la lagune et en sort en attaquant la rive opposée à celle qu'il atterrit (*fig.* 41, *Pl. X*); en sorte que l'on trouve à droite la passe la plus profonde. Si la lagune est grande, l'action de ce courant peut y conserver un bon port. Ce fait est consacré par le proverbe : *Grande lagune, bon port.*

**Mouvement des atterrissements.** — Ils se meuvent en vertu de deux forces : les courants et les vents. Les courants ne produiraient pas seuls de grands effets, puisque leur vitesse n'est guère que de 0m,50 par seconde; mais lorsque la mer est agitée, les vagues soulèvent les dépôts et les mettent en suspension; les courants agissent alors et ne les abandonnent que là où le calme règne. Ce fait bien constaté est la base des objections faites au système de môles discontinus de M. de Fazio; s'ils produisent du calme, il y aura atterrissement.

L'importance des atterrissements varie suivant les localités. Parmi les ports dans lesquels ils ont été le plus considérables, on cite Aigues-Mortes et Fréjus, d'où partirent les flottes des croisés sous saint Louis. Ces villes sont aujourd'hui dans les terres. Le port

d'Ostie, construit sous le règne de l'empereur Claude, est actuellement à 4000 mètres de la mer. Cela est dû surtout aux alluvions du Tibre.

Le port de Cette est l'exemple d'une lutte prolongée de l'art contre les atterrissements. Les ouvrages construits pour obtenir le calme ont produit des alluvions, et l'on n'a pour ainsi dire créé que des écueils.

Dans l'Océan, les atterrissements proviennent, en général, de la corrosion des côtes. Quand les côtes sont composées de roches dures, comme en Bretagne et en Normandie, elles restent stationnaires. Au contraire, les côtes composées de craie, de sable ou de vase varient, parce qu'elles sont détruites ou mobiles; elles varient plus ou moins, suivant leur degré de corrosion et suivant l'action plus ou moins énergique de la mer.

La grosseur des parties transportées varie, en outre, suivant la force du mouvement imprimé. Ainsi au sommet des talus on trouve du galet; au bas on trouve du sable. Dans les baies où il y a plus de calme, les sables ont seuls pu y être tenus en suspension et s'y déposer.

## DUNES.

Les dunes sont des montagnes de sable rejeté par la mer, non pas seulement sur le rivage, mais même à une grande distance. Ces sables marchent par la seule force du vent; leur volume est tellement considérable, qu'ils forment des chaînes de montagnes et des vallons, que l'on appelle dans le pays des *lettes*.

Les dunes principales des côtes de France sont celles qui s'étendent entre les embouchures de la Gironde et de l'Adour, sur une longueur de 240 kilomètres ou 60 lieues, et une largeur qui varie entre 300 et 8000 mètres; leur hauteur atteint jusqu'à 50 et 100 mètres. On a, en outre, remarqué que la plus grande hauteur correspond à la plus grande largeur.

Tous les débris apportés des côtes d'Espagne par les vents de sud-ouest, et des côtes de Bretagne et de l'Aunis par les vents de nord-ouest, arrivent dans cette vaste baie, qui, sans cela, pourrait être plus profonde. Le vent de l'ouest retrousse les sables ainsi apportés, les exhausse et leur fait occuper en largeur, le long de la côte, un espace considérable.

**Moyens d'enlever les alluvions.** — Les moyens qu'on emploie pour enlever les dépôts qui obstruent un chenal ou qui encombrent un port varient avec la nature de ces dépôts. On avait d'abord pensé à s'en garantir au moyen d'épis distancés sur le rivage, ou bien en prolongeant les jetées, qui faisaient alors fonction d'épis; mais les atterrissements venaient s'accumuler contre ces épis, passaient par dessus, ou bien en tournaient la tête. Le mal n'était pas détruit, ses effets n'étaient que retardés. Nous avons déjà signalé les inconvénients qui résultent de l'allongement des jetées. Quand elles ont une certaine longueur, les chasses n'ont plus d'effet pour enlever les alluvions; au contraire, la vitesse de l'eau étant annulée avant que les matières en suspension soient sorties du chenal, elles s'y

déposent et forment un bourrelet qui diminue encore la profondeur.

Au Havre, on a plusieurs moyens d'enlever les atterrissements. Avant de prendre la mer, un navire est toujours obligé d'embarquer plus ou moins de lest, afin d'augmenter sa stabilité. Jusqu'en 1803 on avait, au Havre, la liberté de prendre et de déposer partout le lest. Depuis cette époque, le monopole du lestage est accordé à un entrepreneur, qui doit prendre le lest sur les pouliers, et concourir ainsi à l'entretien du chenal. Il est interdit de se servir du délestage pour lester une seconde fois, parce qu'il devient insalubre par le long séjour qu'il a fait dans la cale d'un navire.

## DES CHASSES.

Les chasses sont des courants artificiels déterminés par des retenues d'eau. Il y a plusieurs manières de se procurer l'eau nécessaire pour chasser. Si on veut éviter la dépense de la construction d'un bassin spécial de retenue, on peut se servir des bassins à flot, en leur empruntant pendant la vive eau la tranche superficielle qui n'est pas nécessaire à la flottaison des bâtiments. Mais cela donne souvent lieu à des discussions avec le commerce. D'ailleurs on ne peut chasser qu'avec un volume d'eau très-limité, et le plus souvent par de petits orifices, tels que les ventelles des portes, ce qui produit peu d'effet. Néanmoins, si ce moyen de chasse n'est pas suffisant pour entretenir la profondeur dans le chenal, il sert à nettoyer l'avant-port et concourt à son entretien.

Les canaux de navigation, les fossés de fortifications, les rivières peuvent alimenter les chasses; mais souvent les eaux n'y sont pas abondantes, et leur emploi amène des discussions avec des intérêts divers. Pour garantir le bon entretien d'un port, l'ingénieur doit pouvoir disposer entièrement de retenues suffisantes et spéciales.

**Dispositions des chasses.** — Le succès des chasses dépend en grande partie de leur bonne disposition. On doit les placer le plus près possible de l'atterrissement, pour qu'elles l'attaquent directement. D'ailleurs le fond d'un port a une pente vers la mer, et plus la retenue sera voisine de la tête des jetées, plus la chute des eaux sera grande. Les chasses débouchant près de la tête des jetées perdent cependant une partie de leurs eaux, détournées dans l'avant-port. On y remédie en ouvrant les ventelles des portes des bassins avant d'ouvrir les portes de chasse.

La direction du courant de chasse doit être disposée de telle sorte qu'il n'attaque pas les ouvrages existants. Malgré la bonne disposition des écluses de Dunkerque et de Calais, les chasses ont attaqué les jetées, et on a dû les défendre par des risbermes assez fortes. Il faut aussi que la direction du courant de chasse ne vienne pas fatiguer les bâtiments échoués.

**Fermeture des écluses de chasse.** — Parmi tous les systèmes mis en usage à diverses époques, on doit préférer les portes tournantes à axe vertical, qui se mettent dans un passage de 5 mètres environ, et qui sont divisées par le poteau tourillon en deux parties inégales, et suivant le rapport 1,74 indiqué par M. Raf-

feneau. En adaptant à ces portes des ventelles de manière à pouvoir faire du plus grand côté le plus petit, et réciproquement, on aura des portes d'une construction simple et dont toutes les manœuvres se feront avec facilité.

**Systèmes de construction.** — On a employé différents systèmes pour la construction des portes de chasse. Les anciennes portes du Havre étaient composées de trois poteaux, un au centre et deux latéraux, de traverses qui les réunissaient, et toute la charpente était recouverte de bordages verticaux des deux côtés. On avait compté avoir par là des portes solides et très-légères; mais quelque bien calfatés que soient les bordages, les joints finissent toujours par s'ouvrir, et les eaux, en y pénétrant, y déposent leur limon. C'est ce que l'on a constaté quand on a eu des réparations à y faire; ces portes étaient devenues en réalité extrêmement lourdes.

Quand on dut les renouveler, on les remplaça par des portes ayant leurs bordages au milieu des poteaux, et inclinés de manière à reporter le plus posssible la pression sur le poteau tourillon. Des moises horizontales, placées de distance en distance contre les bordages, servaient à les réunir. Les deux parties de la porte étaient, en outre, reliées par des plates-bandes en fer, dans lesquelles passaient les boulons. Un système analogue a été employé à Gravelines et à Dunkerque.

A Boulogne, on a des poutrelles verticales de distance en distance, réunies par des bordages horizontaux. Ce mode de construction est excellent, surtout si on y ajoute une écharpe en fer pour trianguler l'ensemble.

A Calais, à Fécamp, au Havre, on a employé avec succès un système de charpente composé de poutrelles verticales jointives, reliées par des moises horizontales et consolidées par des clefs en chêne.

L'écluse de la citadelle, à Calais, est construite au moyen de poutrelles horizontales jointives, reliées verticalement par des moises en fer. Une écharpe complète la triangulation.

L'expérience a prouvé que chacun de ces systèmes peut être employé avec succès. Cependant, si on se sert de poutrelles jointives, il vaudrait peut-être mieux les mettre verticales qu'horizontales, et employer le système de moises et d'écharpes adopté à Fécamp.

Le système de bordages inclinés avec le poteau tourillon, avec moises horizontales renforcées par des plates-bandes en fer, est peut-être de tous, celui qui offre le plus de rigidité dans les assemblages; il a, en outre, l'avantage de reporter mieux que tout autre les pressions sur le point fixe.

**Construction des écluses de chasse.** — La disposition d'une écluse de chasse dépend de la place et de la nature des alluvions à détruire, de leur masse, de la chute du volume des eaux disponibles. On fixe en conséquence le nombre des pertuis, leur largeur, leur direction et la cote du radier. Si on examine une écluse de chasse en partant de l'amont, on trouve un arrière-radier, un radier, un avant-radier, et quelquefois un faux radier en avant. Les bajoyers, avec les appareils pour l'ouverture et la fermeture, s'élèvent sur le radier. Les parements des culées et des piles, s'il y a plusieurs per-

tuis, et les radiers, sont construits en matériaux résistants. Tous ces ouvrages doivent être établis de manière à éviter les filtrations de l'amont à l'aval. Ainsi on évite les cours continus de longrines, et on intercale des obstacles transversaux, tels que des files de palplanches, des crèches en béton ou des couches de glaise. Par exemple, dans l'écluse de Dunkerque, composée de cinq passages et fondée sur pilotis, nous remarquons un avant-radier de 30 mètres de largeur dans le sens de l'écluse, formé d'un grillage piloté et bordé; il est précédé d'un faux radier, composé d'une couche inférieure de terre glaise de $0^m,50$ d'épaisseur, puis d'un tunage dont les fascines sont posées dans le sens du fil de l'eau. Les cases de tunage sont remplies de blocailles; le tout est couronné d'un grillage de traversines et longrines; l'arrière-radier, un peu plus élevé que l'avant-radier, est composé de la même manière. Le radier est formé d'une couche de béton de 2 mètres environ, recouverte par l'appareil en pierre de taille. Un faux radier d'amont précède l'arrière-radier, et est construit comme le faux radier d'aval. Entre ces diverses parties, et au milieu de chacune d'elles, des crèches en béton arrêtent les filtrations.

En général, il vaut mieux fonder sur pilotis que dans des encaissements. En suivant ce second mode, les ouvrages sont plus exposés à des tassements inégaux. Lorsque le terrain est inégalement résistant, on doit rétablir l'égalité de résistance par des pieux battus au refus. Ainsi dans des constructions sur roc et sable, dans les points où l'on ne peut construire sur le roc, il faut l'atteindre avec des pieux qui reportent sur le solide le poids des maçonneries. Le sable n'est pas absolument incompressible, et peut être entraîné dans une construction exposée aux filtrations. Si cette construction repose sur le sable, elle est exposée à des avaries, et les réparations sont difficiles ou impossibles; mais si elle est fondée sur pilotis, il est facile de la réparer par des injections de mortier. L'excès de dépense occasionné par les fondations sur pilotis est compensé par la solidité. Ce n'est pas faire une économie que de se préparer d'énormes dépenses pour l'avenir.

### DARSES. — BASSINS A FLOT. — DOCKS.

Dans la Méditerranée, les enceintes que l'on forme pour mettre les navires à l'abri portent le nom de *darses*. Comme il n'y a pas de marées, les bâtiments y sont toujours à flot. Dans l'Océan, au contraire, il faut avoir des bassins où on puisse conserver la mer haute. Ces bassins portent le nom de *bassins à flot* ou de docks; leur nécessité est surtout motivée sur ce qu'il y a des bâtiments qui ne peuvent supporter l'échouage. Ces navires, affectés particulièrement aux voyages de long cours, renferment des cargaisons de prix, qui sont perdues, si par malheur ils échouent. Quand ils sont à flot dans ces bassins, on peut les charger, les décharger, les armer ou les désarmer à toute heure de la marée.

Outre les bassins à flot, il existe dans un port des bassins spéciaux pour la réparation des navires.

**Dispositions générales.** — Les bassins à flot doivent toujours être précédés d'un avant-port. Il ne faut pas qu'ils soient trop près de l'entrée du chenal, sans quoi les portes seraient trop exposées aux vagues et au choc des navires qui n'auraient pas complétement perdu leur air; ils doivent en être pourtant assez rapprochés, pour que les navires puissent y arriver en une marée sans risquer d'échouer. La distance des entrées des bassins aux musoirs des jetées dépend donc de la durée de l'étale. A Dieppe, comme il n'y a pas d'étale, les navires qui arrivent dans le port à haute mer ne peuvent pas toujours entrer dans le bassin. Cela tient à ce que, lorsque la mer commence à baisser, on est obligé de fermer les portes, afin d'éviter l'action du courant de la mer descendante, qui les porterait violemment l'une contre l'autre. C'est pour éviter aux navires l'échouage dans l'avant-port qu'on exécute maintenant à Dieppe un bassin plus rapproché du chenal. On cherche aussi à obtenir ce résultat à Dunkerque. Au Havre, ces bassins sont à une distance convenable.

**Dimensions.** — Les dimensions des bassins à flot doivent varier suivant leur destination. Pour le chargement et le déchargement des marchandises, la position la plus commode est quand le navire est bord à quai, c'est-à-dire parallèle au quai dans le sens de sa longueur. On doit donner aux bassins une largeur telle que l'on puisse y mettre les navires sur deux rangs de chaque côté. Le premier rang, bord à quai, charge et décharge directement, le second profite de l'espace laissé entre deux navires du premier rang pour communiquer avec le quai par un pont volant. Il faut, en outre, au milieu assez de place pour qu'un navire puisse y virer de bord. Pour satisfaire à ces conditions dans les bassins de commerce, 80 mètres seraient une largeur minimum, et 200 mètres une largeur déjà considérable.

Les bassins des ports de guerre doivent être plus larges, en raison des plus grandes dimensions des bâtiments de la marine militaire.

Il conviendrait d'avoir dans tous les ports un bassin spécial pour les bâtiments à voiles et pour les bâtiments à vapeur.

Les dimensions en longueur doivent être proportionnées à l'importance du port. Il faut qu'il y ait toujours près des écluses une étendue suffisante pour recevoir plusieurs navires à la marée prochaine, surtout quand les vents contraires ont régné longtemps. Dans ces circonstances, il entre au Havre jusqu'à vingt navires en une marée.

Il faut dans les bassins une hauteur d'eau suffisante pour que les navires du plus fort tonnage soient toujours à flot. Pourtant il n'y a pas d'inconvénient à ce qu'ils posent en morte eau sur de la vase molle; ils s'y creusent une souille, et la hauteur d'eau qui existe encore les supporte suffisamment.

Cependant il faut remarquer que plusieurs causes diminuent la hauteur d'eau. Ainsi il y aura toujours quelques pertes d'eau, soit par les filtrations, soit par les sassements. Il faut souvent mettre une tranche d'eau à la disposition des chasses; on baisse les eaux pour ouvrir quelquefois les portes un peu avant le plein; enfin le fond

peut s'exhausser par des envasements. Il conviendra donc d'assurer une hauteur d'eau de 7 mètres en vive eau dans les bassins destinés aux bâtiments de commerce, et de 9 mètres pour les bassins destinés aux bâtiments de guerre de premier rang.

Le niveau des bassins est fixe ou variable. Lorsque le niveau est variable, le bassin est fermé par des portes d'ebbe que le flot ouvre, et qui se referment au jusant. L'eau atteint chaque jour la cote de la haute mer. Il en est ainsi au Havre. Cependant on tient dans quelques ports les portes fermées en morte eau, afin d'éviter l'échouage des bâtiments fins lourdement chargés. Lorsque la différence des hautes mers de morte eau et de vive eau est aussi grande qu'à Saint-Malo, les navires se trouveraient souvent ou trop hauts ou trop bas par rapport aux quais. Les bassins sont alors à niveau constant, et les navires y entrent par des écluses munies de deux paires de portes d'ebbe, qui peuvent former un sas entre elles. Ces doubles portes ont l'avantage de pouvoir diviser la pression de l'eau à mer basse, ce qui soulage beaucoup les portes. La largeur que doivent présenter les quais se compose de l'espace nécessaire pour débarquer les marchandises, les faire reconnaître par la douane, les échantillonner, etc., et enfin de l'espace nécessaire à la circulation. On voit par là qu'il ne faut pas moins de 20 mètres, et que si l'on pouvait porter cette largeur à 40 mètres, cela n'en vaudrait que mieux.

**Docks.** — Les docks sont des bassins qui ont des destinations différentes. A Liverpool et à Bristol, les docks sont des établissements analogues aux bassins du Havre. A Londres, on appelle docks des établissements composés de bassins et de magasins pour l'entrepôt des marchandises, et c'est avec cette signification que ce mot est passé dans notre langue.

Presque toutes les marchandises importées payent des droits de douane. Ces droits s'élèvent à des sommes considérables pour la cargaison d'un navire, et le négociant destinataire serait souvent gêné, s'il fallait les acquitter immédiatement. Dans nos ports, il peut mettre ses marchandises à l'entrepôt réel, c'est-à-dire dans un magasin sous la surveillance de la douane, et il ne paye les droits qu'à la sortie de l'entrepôt, lorsque les marchandises sont vendues. Ces entrepôts ne sont pas toujours suffisants : on crée alors dans l'intérieur de la ville des entrepôts fictifs. Comme ils ne peuvent pas être surveillés comme l'établissement spécial, les droits sont perçus sur la quantité de marchandise entrée, tandis qu'à l'entrepôt réel on ne paye de droits que sur la marchandise qui sort, et, par conséquent, on ne paye pas de droit sur les déchets.

On voit par là quels avantages le commerce peut retirer de l'établissement des docks, c'est-à-dire de bassins avec des magasins y attenant, où les marchandises sont en entrepôt réel.

On a construit en Angleterre des docks dans différents systèmes. Quelquefois sur les quais nus on dispose des tentes, sous lesquelles on reçoit les marchandises; c'est ce qui a lieu au Havre. A Liverpool, il y a des hangars, que l'on ferme la nuit au moyen de panneaux qui réunissent les supports des hangars.

La disposition la plus usitée en Angleterre consiste à avoir des hangars près du bassin, où les marchandises se manipulent à couvert; en arrière sont de grands bâtiments pour les recevoir. Une voie est ménagée entre les hangars et les magasins pour l'enlèvement des marchandises. Si l'établissement est entouré d'un mur de clôture, la douane l'accepte pour entrepôt; mais cette disposition n'est pas toujours possible. Au dock de Sainte-Catherine, construit dans l'intérieur de Londres, comme le terrain était restreint dans des limites très-étroites, on a construit les magasins immédiatement sur le bord des quais, et le rez-de-chaussée sert de hangar. Ce système a des inconvénients. En effet, pour soutenir les cinq à six étages des magasins il faut de forts supports, qui occupent un grand espace le long du quai et gênent pour le chargement et le déchargement; il faut pratiquer des trappes dans les magasins de distance en distance, ce qui occupe une place et gêne pour la circulation et l'arrimage. Enfin le rez-de-chaussée servant de hangar, les magasins ont un étage de plus, et les marchandises sont élevées plus haut, ce qui occasionne une perte de temps et de main-d'œuvre.

Lorsque les magasins sont construits derrière les hangars, on élève les marchandises au moyen de machines placées au haut de l'édifice, en saillie sur le mur, et on les introduit par les fenêtres de chaque étage. Les étages n'ont environ que $2^m,50$ de hauteur. On ne les élèverait pas davantage sans augmenter les frais de bordage et d'arrimage.

M. Frissard a projeté des docks dans un système mixte. Dans son projet, les magasins sont attenants aux hangars, sans rue intermédiaire, comme dans les docks anglais. Les trappes sont placées dans des avant-corps servant de contre-forts au bâtiment principal.

**Murs de quai.** — Les murs de quai des bassins à flot sont dans des conditions plus avantageuses que les murs de quai d'avant-ports; ils ne sont pas soumis à des pressions variables; cependant, comme on est obligé quelquefois de mettre le bassin à sec, ils doivent pouvoir résister accidentellement aux charges que supportent les murs des avant-ports, et, par conséquent, il sera prudent de leur donner une épaisseur égale aux $\frac{45}{100}$ de la hauteur.

On les construit d'ailleurs presque toujours à sec, parce qu'avant de faire l'écluse d'entrée on conserve un bâtardeau naturel pendant tout le temps que dure le creusement du bassin et la construction des murs.

Les fondations sont descendues en contre-bas du fond du bassin. Pour peu que l'on ait à craindre que le terrain soit compressible et affouillable, il ne sera pas prudent d'établir les murs sur le terrain naturel.

Si les alignements sont longs, il convient d'élever le mur suivant une ligne concave de $0^m,10$ à $0^m,15$ de flèche; car il est difficile d'obtenir une ligne rigoureusement droite, qui, du reste, serait déformée par la poussée. Avec cette flèche, le mur devient droit ou paraît droit. D'ailleurs une forme concave n'est pas désagréable à l'œil comme les bombements.

Les murs de quai du bassin du commerce au Havre sont fondés sur un grillage horizontal encastré entre deux files de pieux jointifs. Le mur nord, construit en ligne droite, a pris un bombement de $0^m,08$.

La *fig.* 42, *Pl. X*, représente le profil des murs de quai du bassin de la Barre, fondés sur un grillage incliné vers le terre-plein. Le grillage tend à devenir horizontal, et la poussée peut faire fléchir les pieux jointifs de rive; c'est pourquoi on préfère les grillages horizontaux aux grillages inclinés. Le rapport de la largeur du mur à sa hauteur est, à la base, de $0^m,40$.

M. Renaud a construit les murs du bassin Vauban conformément à la *fig.* 44, *Pl. X*; il a obtenu une économie notable en fondant sur une couche de béton et en parementant en briques toute la partie plongée. Le parement de briques est relié par des lançoires en pierre de taille à la maçonnerie de remplissage.

En même temps qu'on abaissait le radier de l'écluse du bassin du Roi de $1^m,25$, il fallait établir le plafond de ce bassin à la même profondeur; mais les murs de quai n'étaient fondés qu'au niveau de l'ancien plafond et sur le terrain naturel, avec une simple ligne de palplanches jointives battues en avant. Ces murs étaient en très-mauvais état, et ne pouvaient même plus résister à la poussée des terres lorsqu'on vidait le bassin. M. Frissard proposa de les reconstruire.

D'après le projet qu'il présenta, les murs neufs devaient être reconstruits en avant des anciens sur 3 mètres d'épaisseur moyenne, et ils devaient être faits sur pilotis, afin d'éviter des tassements qui auraient séparé le mur neuf de l'ancien; mais lorsqu'on battit la première ligne de pieux contre le vieux mur, on éprouva une résistance telle que les maisons voisines étaient ébranlées par le battage. Il reconnut bientôt que les pieux que l'on battait traversaient les anciennes palplanches, que la poussée du vieux mur avait inclinées jusqu'à 20 et 30 degrés. Il fallut donc renoncer à battre des pieux pour fonder le mur neuf. Il fit battre alors la file de pieux jointifs qui devaient encaisser les fondations du mur neuf. Ensuite on fit des fouilles de 15 mètres de longueur environ entre ces pieux et l'ancien mur, et l'on fonda le mur neuf par portions de 15 mètres sur une triple plate-forme en bordage de hêtre de $0^m,10$ d'épaisseur. Le mur fut ainsi élevé, dans une campagne, sur tout le pourtour du bassin, jusqu'à l'assise en dessous de celle qui devait recevoir la semelle des poteaux de garde; en sorte que, pendant l'hiver, les maçonneries tassèrent et prirent corps. Dans la campagne suivante le mur fut élevé à toute sa hauteur, sans qu'on remarquât après l'exécution aucun changement dans son profil (*fig.* 43, *Pl. X*).

**Creusement des bassins.** — L'avant-port du port militaire de Cherbourg a été creusé dans le roc vif, sur une profondeur de $8^m,37$ en contre-bas des basses mers d'équinoxe. Ce travail s'est exécuté à l'abri d'un batardeau de 64 mètres de longueur entre les deux môles, et chargé de 6 mètres d'eau au minimum et de 13 mètres au maximum. Ce batardeau se composait de deux cours de fermes (*fig.* 45, *Pl. X*), distants de 8 mètres, couverts d'un bordage for-

mant le parement intérieur et extérieur du batardeau. Ce système a été construit à terre, mis à flot, conduit en place et coulé ; il pesait 1500000 kilogrammes et contenait 1300 mètres cubes de bois. Ce vaste coffrage a été rempli de glaise ; il a parfaitement résisté de 1804 à 1813, année où le creusement de l'avant-port a été terminé. Sa destruction a présenté de grandes difficultés, et il a fallu recourir pendant plusieurs années à la cloche à plongeur.

Cette machine, hors de l'eau, pèse 6 à 10 tonnes ; il faut donc plusieurs hommes pour manœuvrer la cloche et le ponton qui la porte. Cependant deux plongeurs seulement travaillent sous l'eau, et leur travail revient à un prix élevé.

Si l'on est gêné par l'eau, les déblais peuvent s'exécuter par des dragages, quand le sol le permet, ou bien, quand on est dans le rocher, au moyen de mines sous-marines, comme à Marseille, ou bien encore au moyen d'un bateau à air comprimé, comme celui que M. de la Gournerie a fait construire au Croisic.

Pour creuser le bassin Vauban, M. Renaud s'est servi d'une machine représentée *fig.* 46, *Pl. X.* Un chariot roule sur un plan incliné ; il est tiré par une corde qui passe sur une poulie et s'attache à un chariot semblable. Ce chariot est au haut du plan incliné quand le premier chariot est au bas du sien. Des hommes servent de contre-poids pour élever le chariot plein, et remontent par une rampe afin de recommencer la même manœuvre. Une machine analogue, à un mouvement vertical, a été employée par des officiers du génie dans des travaux de terrassements.

**Ecluses.** — On entre dans les bassins par des écluses simples avec une simple paire de portes d'ebbe, ou avec une paire de portes d'ebbe et une paire de portes de flot, enfin par des écluses à sas avec deux paires de portes d'ebbe, ou deux paires de portes d'ebbe et une paire de portes de flot.

Ces portes défendent les portes d'ebbe contre l'action des vagues lorsque l'avant-port n'est pas calme. Quelquefois les portes d'ebbe sont arc-boutées avec des valets ou porte-valets, qui les empêchent de battre quand les eaux de l'avant-port sont agitées et à peu près au niveau des eaux dans le sas. A chacune des marées comprises entre la morte eau et la vive eau, le niveau des hautes mers augmente ; par conséquent, la pression extérieure fait ouvrir les portes d'ebbe.

Au contraire, à mer descendante, le niveau de la haute mer, à chaque marée, est plus bas que celui de la haute mer précédente, et les portes ne s'ouvriraient pas, si on n'avait pas à sa disposition des ventelles pratiquées dans les portes, ou tout autre moyen de laisser échapper une quantité d'eau telle que la mer monte toujours à un niveau un peu plus élevé que dans l'intérieur du bassin.

Pour recevoir les navires pendant plus de temps avant et après le plein, on a disposé en Angleterre les bassins de mi-marée en avant des bassins à flot ; ils forment le sas d'une écluse où les navires d'un tirant d'eau donné peuvent entrer dès qu'il y a assez d'eau sur les buscs d'aval. On a proposé de construire des sas élargis, recevant plusieurs navires à la fois ; ils ne diffèrent des bassins de mi-marée

qu'en ce que leurs dimensions sont moindres et que les navires n'y stationnent pas. L'avantage des sas avec doubles portes d'ebbe est que les navires peuvent entrer dans le bassin à toute hauteur d'eau, pourvu qu'ils puissent entrer dans le sas. A mer basse, en conservant le sas plein en partie, on divise la pression entre les portes d'amont et d'aval. Mais les écluses à sas coûtent plus cher que les écluses simples; leur manœuvre est longue, et elles affament le bassin par les sassements faits avant que la mer ait atteint le niveau de la retenue. Pour remédier à ce dernier inconvénient, on peut creuser les bassins plus bas que les buscs, ou restituer l'eau au moyen de machines, comme au dock de Sainte-Catherine; mais ces moyens occasionnent des dépenses considérables.

**Dimensions des écluses.** — On donne au sas la longueur des plus grands bâtiments qu'ils doivent recevoir; la largeur des écluses est de 8 à 14 mètres pour le commerce; il faut 18 mètres pour les vaisseaux de guerre de premier rang, et 21 mètres pour les paquebots transatlantiques. Les porte-roues n'augmentant la largeur du bateau qu'à sa partie supérieure, on pourrait appuyer sur 4 mètres de saillie les entretoises inférieures des portes.

Lorsque deux bassins communiquent par une écluse, on doit la munir de deux paires de portes busquées en sens contraires. En effet, si cette écluse n'avait qu'une paire de portes, on ne pourrait vider un des bassins sans vider l'autre. Cet inconvénient existe au Havre, où l'on parvient au bassin du Commerce en passant par le bassin du Roi ou le bassin de la Barre. Les deux écluses n'ont qu'une paire de portes d'ebbe. Si on vide le bassin du Commerce au travers du bassin du Roi, par exemple, les portes vers le bassin de la Barre s'ouvrent, et ce bassin se vide au travers des deux autres.

**Composition des écluses.** — Les écluses des ports de mer sont plus grandes, mais elles se composent des mêmes parties que les écluses des rivières et des canaux, savoir : l'avant-radier, le radier, l'arrière-radier, les buscs, les bajoyers, les chambres des portes, les enclaves et les rainures pour les bateaux. On doit prendre pour la construction de ces écluses toutes les précautions que l'on prend au sujet des écluses de chasse : les filtrations sont aussi à craindre que dans les écluses de chasse.

Le radier est ordinairement à la cote des basses mers de vives eaux, et même plus bas, suivant la profondeur de l'avant-port et le tirant d'eau des navires admis, lesquels doivent toujours avoir au moins $0^m,20$ de hauteur d'eau sous quille. Au-dessous des basses mers de vive eau le radier devient difficile à construire et à réparer. Au Havre, le busc d'une écluse de 21 mètres de largeur est à 1 mètre en contre-bas des basses mers de vives eaux.

**Fermeture des écluses.** — Les écluses sont fermées par des portes ou des bateaux-portes; mais ceux-ci sont plus spécialement employés à fermer les fermes. Les portes d'ebbe et de flot sont construites dans le même système; elles sont en bois, en bois et métal, ou en métal seulement.

**Portes en bois.** — Les portes des écluses à la mer ont des dimensions plus grandes et supportent des charges beaucoup plus

considérables que les portes des canaux; elles se composent, comme celles-ci, d'un poteau tourillon, d'un poteau busqué, de deux traverses, d'entretoises jointives ou séparées par des intervalles que les bordages recouvrent, de bracons, avec ou sans faux bracons, et d'écharpes en fer. Ces diverses parties sont reliées entre elles par des assemblages, des ferrures et des boulons, et doivent former des triangles, figure qui ne peut se déformer sans allongement des côtés. Les bordages s'appuient sur une feuillure de $0^m,08$ à $0^m,12$; on peut les placer verticalement ou inclinés. En les inclinant parallèlement au bracon ils contribuent à la solidité de la porte, en ajoutant encore à sa rigidité. Quelquefois la porte est recouverte de deux cours de bordages, tous deux inclinés, ou l'un vertical, l'autre incliné. Par ce moyen on évite, il est vrai, l'action des lames en aval; mais les dépôts qui se font quelquefois entre ces deux bordages rendent la porte très-lourde et très-difficile à manœuvrer.

Les dimensions des portes dépendent de la largeur des passages et des charges d'eau; les portes à la mer supportent des pressions de 100 à 250 tonneaux, et pèsent de 25 à 50 et même 60 tonnes.

Il est difficile d'assigner à chaque partie de la porte son degré d'influence et la portion d'effort qu'elle doit supporter. Néanmoins l'expérience prouve que c'est un peu au-dessous du milieu de la hauteur que se trouve la pression maximum. Par conséquent, c'est dans cette région qu'il faut donner l'épaisseur la plus grande. C'est ce que font les Hollandais; ils espacent également les entretoises, mais ils renforcent les deux du milieu par des adjonctions de pièces boulonnées, qui augmentent beaucoup leur résistance.

On ne peut pas toujours trouver des pièces de bois pour en faire les entretoises des grandes portes. On compose alors des poutres armées. Le moyen le plus simple consiste à placer plusieurs pièces l'une contre l'autre et à les boulonner ensemble. Cela ne suffit pas toujours pour les faire adhérer comme une pièce unique : lorsqu'une pression s'exerce contre ces pièces, certaines fibres se rapprochent, d'autres s'écartent. On donne alors plus de rigidité à cet assemblage en intercalant entre ces pièces des tampons en métal ou en bois de gayac.

**Ferrures.** — Les entretoises sont reliées aux poteaux par des étriers ou par des équerres. Les équerres sont boulonnées sur les poteaux comme sur les entretoises, et les boulons tendent à faire éclater les poteaux, surtout s'ils sont sur la même ligne. Les équerres simples ont la forme d'un T; les équerres doubles se composent de deux branches horizontales réunies par une barre verticale. On les alterne sur chaque face d'un ventail et on les serre par des boulons à écrous ou rivés.

Pour s'opposer au déversement de la porte, on relie la tête du poteau tourillon au pied du poteau busqué par une écharpe en fer. Afin de pouvoir relever la porte, lorsqu'elle donne du nez, on compose l'écharpe de deux pièces, et on la tend avec des clavettes (*fig.* 47, *Pl. X*) ou avec une tige portant deux filets de vis en sens opposés (*fig.* 48, *Pl. X*).

Les ferrures ont $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur, et $0^m,015$ à $0^m,03$ d'é-

paisseur, suivant leur position et les dimensions des portes. Toutes, excepté l'écharpe, sont encastrées dans le bois, et les boulons seuls font saillie sur la porte. La section des ferrures est quelquefois un trapèze, afin qu'elles serrent davantage les poteaux et entretoises.

On a remplacé le fer par le cuivre dans plusieurs portes à la mer; mais les ferrures en cuivre sont d'un prix élevé. On leur préfère aujourd'hui le fer, qui dure à la mer au moins autant que le bois.

**Ventelles.** — Les ventelles servent aux chasses, aux sassements, et à faire varier le niveau des bassins pour les faire communiquer entre eux ou avec la mer dès que le flot a atteint une hauteur déterminée. Le temps des manœuvres étant précieux, les dimensions des ventelles sont calculées de manière à remplir promptement les sas, et on dispose des leviers, des vis ou des crics, pour les lever en peu de temps. Les ventelles sont en saillie sur la face pressée des portes, et glissent entre des coulisseaux qui les retiennent dans leur position. Une ferrure en forme de fer à cheval assemble les madriers qui les composent et s'attachent à la tige ou crémaillère servant au levage. Il est bon que cette tige ait deux articulations en sens inverse, pour éviter un tirage oblique.

**Collier.** — Le collier se compose de deux parties, l'une fixe et l'autre à charnière, assemblée par deux boulons sur la partie fixe (*fig.* 49, *Pl. X*). La partie fixe porte deux ou trois branches; mais deux suffisent : elles s'engagent dans les tirants ou ancres. Ceux-ci sont ordinairement placés sous le couronnement des bajoyers et fixés par des goujons scellés en plomb; ils ont jusqu'à $1^m,50$ et 2 mètres de longueur, et traversent plusieurs assises. Une ancre est parallèle au busc; l'autre est inclinée sur le bajoyer, parce qu'elle serait trop rapprochée du parement, si elle était dans la direction de la porte ouverte.

Les ancres plongées dans la maçonnerie sont en fer, et ne s'altèrent pas au contact du bronze du collier.

**Crapaudines.** — Elles se composent de deux parties, l'une fixe et l'autre mobile. La partie fixe est la crapaudine proprement dite; la partie mobile porte le nom de pivot. La crapaudine est quelquefois saillante, mais le plus ordinairement elle est creuse et reçoit le pivot. La crapaudine et le pivot se touchent par des surfaces convexes en sens opposé et à grand rayon. La pression entre ces deux surfaces va jusqu'à 50 tonnes. Ces deux surfaces doivent être de même métal (*fig.* 50, *Pl. X*).

Pour engager la partie supérieure du pivot dans le poteau tourillon, on lui donne ordinairement la forme hexagonale; on ajoute des oreilles pour empêcher le bois de tourner dans la boîte du pivot. On empêche la crapaudine de tourner en lui traçant un plan par deux lignes tangentes à un arc de cercle, ou bien en la faisant ronde avec deux oreilles en saillie. La crapaudine est scellée dans la bourdonnière ou coussinet du chardonnet.

**Roulettes.** — Les roulettes (*fig.* 51, *Pl. X*) se placent sous la dernière traverse près du poteau busqué; elles ont de $0^m,20$ à $0^m,40$, et leur axe de $0^m,05$ à 0,08. Elles roulent sur une bande

métallique scellée sur le radier. Les roulettes sont sphériques ou coniques. L'axe, la roulette et le chemin circulaire sont de même métal; car dans l'eau de mer les métaux différents en contact sont promptement détruits par l'action galvanique.

Le grand poids des portes et le petit diamètre des roulettes sont cause qu'elles tournent difficilement. Quelquefois même elles ne tournent pas, s'usent et se décentrent. La porte éprouve alors de grandes résistances et se déforme pendant son mouvement. On a quelquefois remplacé les roulettes par des verrins ou des verroux qu'on descend et qui supportent les ventaux lorsqu'ils sont au repos. Il faut avoir soin de ne pas soulever la porte avec le verrin, parce qu'un mouvement alternatif fatiguerait les assemblages.

**Mise en place des portes.** — C'est une opération difficile à cause du grand poids de ces portes : elles pèsent en effet, comme nous l'avons déjà dit, de 25 à 50 tonnes. Cinq mouvements sont à faire : 1° amener les portes dans l'écluse; 2° les mâter debout; 3° les enlever; 4° les amener sur l'aplomb de la crapaudine ; 5° les descendre doucement.

Ordinairement on construit les portes sur une cale inclinée et dans le voisinage d'un bassin, parce qu'au moyen de tonnes on les fait alors flotter jusqu'à l'écluse. Quand il n'y a point d'eau les portes sont amenées dans l'écluse sur des rouleaux. Cela fait, on saisit la porte par l'entretoise supérieure, et on la mâte debout en la faisant tourner autour de l'entretoise inférieure comme charnière. Afin de ne pas dégrader l'arête sur laquelle s'opère la rotation, on l'engage dans une pièce de bois circulaire, préparée d'avance pour cet usage. Ce mouvement de la porte et ceux que l'on fait ensuite s'opèrent de plusieurs manières. Un premier système consiste à élever trois bigues (*fig.* 52, *Pl. XI*) sur chaque bajoyer que l'on réunit par une poutre armée qui les rend solidaires; les grelins que l'on amarre à l'entretoise supérieure s'enroulent sur des poulies ou des moufles placés au sommet de ces bigues et de là sur des cabestans placés sur les bajoyers. En agissant convenablement sur l'un ou l'autre de ces cabestans, on exécute toutes les opérations du levage et de la pose aussi doucement qu'on le désire, et avec la plus grande précision. Le plus souvent la mise en place des portes se fait lorsqu'il y a de l'eau dans l'écluse, parce que le poids à soulever est diminué de celui du volume d'eau déplacé par la porte. Il faut alors avoir bien soin qu'il n'y ait rien dans la crapaudine afin que le pivot y entre facilement.

On peut remplacer les bigues par des caps (*fig.* 53, *Pl. XI*), espèce d'appareil en charpente qui a été employé au Havre pour le levage des portes du bassin du Roi. Ces portes ont été posées à sec.

**Manœuvres des portes.** — Beaucoup de portes se manœuvrent au moyen de deux cordages ou de deux chaînes enroulées sur des cabestans et amarrées au sommet du poteau busqué. L'une sert à l'ouverture et l'autre à la fermeture du ventail; mais celle-ci pend dans l'écluse et s'étend sur le radier lorsque les portes sont ouvertes; elle peut être accrochée par la quille d'un navire. Pour

éviter cet inconvénient, on peut détacher cette corde et l'enlever jusqu'à l'heure de la fermeture. On pourrait se servir, comme sur les canaux, d'une bielle qui pousse et tire alternativement, ou d'une crémaillère avec pignon à dents, maintenue comme une roulette.

On peut aussi employer, comme à l'écluse de Marly, un arc denté, fixé au ventail et mis en mouvement par un pignon fixé dans le bajoyer.

Mais tous ces systèmes tirent la porte par le haut et tendent à la faire se gauchir. Il faut donc tâcher que les points d'attache soient plus bas. Pour cela on a construit des puits dans les bajoyers, et des galeries horizontales allant de l'écluse aux puits. Les chaînes d'ouverture et de fermeture s'enroulent sur des tambours ou des fusées mobiles dans le puits autour d'un axe vertical.

A Liverpool, les portes du Cobourg-Dock sont saisies par des chaînes placées à $0^{m},60$ au-dessus du radier. Le même système devait être employé à Saint-Malo, mais les vagues, venant s'engouffrer dans les vides, ont amené la dislocation des maçonneries de l'écluse appareillées avec soin. On voit par là combien il est important d'éviter les solutions de continuité dans les maçonneries. A l'écluse de Dieppe, au lieu d'avoir des puits verticaux, on a fait des aqueducs inclinés. Ce système a l'inconvénient de prolonger les maçonneries de ces canaux au delà des bajoyers. Il donne également lieu à des appareils compliqués.

On doit lui préférer des chaînes s'enroulant sur des cabestans et passant sur des poulies de renvoi scellées dans les murs. Ces poulies sont mobiles sur un axe vertical, parce que la corde en chaîne change à chaque instant de direction. Ce moyen plus simple évite tous les inconvénients signalés.

**Portes en métal.** — On a employé le fer et la fonte avec le bois dans la composition des portes à la mer. A Cherbourg on avait construit des portes métalliques avec bordé en bois pour le port du Commerce. Les entretoises en fonte étaient évidées et garnies d'une fourrure en bois sur laquelle étaient cloués les bordages. Les poteaux tourillons et busqués étaient également en fonte; les premiers semi-cylindriques, les seconds plats, avec une garniture en bois, taillés en coin suivant l'angle du busc. Les entretoises présentaient à leurs extrémités des oreilles renflées et boulonnées sur les poteaux. Il n'y avait pas de bracons, l'écharpe était simple. Ces portes ont été construites avec le plus grand soin et n'ont baissé que d'une quantité insensible après leur pose; mais le choc des vagues de l'avant-port a bientôt rompu les entretoises; et après quelques tentatives pour les remplacer par des entretoises en fer, on a été forcé de reconstruire les portes entièrement en bois.

La fonte n'a pas assez d'élasticité pour résister aux chocs, et des entretoises en fonte peuvent être brisées même dans les enclaves, si la porte est choquée par les navires entrants et sortants. En outre, la durée de la fonte doit être réduite par son contact avec les boulons ou rivets en fer, lorsqu'elle est plongée dans l'eau de mer.

On a construit des portes avec entretoises métalliques et poteaux

en bois. Les assemblages se conservent mieux. On a proposé de former les entretoises de tuyaux creux en fonte, comme les arcs du pont du Carrousel, mais ce système n'a pas encore été appliqué. Il faudra toujours, pour les assemblages, du fer forgé qui, par l'action galvanique, réduira la durée des pièces.

Enfin, on peut employer simultanément le bois et le fer dans la construction des entretoises, par conséquent faire des entretoises en fer forgé recouvertes par du bois, ou des entretoises en bois recouvertes par du fer. Ce dernier système a été appliqué avec succès sur la Seine, au pertuis de la Marne.

L'emploi du métal dans la construction des portes d'écluse vient souvent au secours des ingénieurs qui n'ont pas de bois de dimensions assez fortes pour résister aux grandes pressions; mais, en général, il vaut mieux faire tout en bois, si cela est possible. Le fer se corrode et peut ne pas résister trop longtemps.

**Portes-valets.** — Lorsque la mer est agitée dans l'avant-port, et qu'elle est à peu près au niveau des retenues des bassins, les ventaux battent l'un contre l'autre, en s'ouvrant et se refermant brusquement. Pour empêcher ces mouvements, on s'est servi de clavettes ou de loquets, réunissant les deux ventaux, ou de verroux fixant le bas des portes au radier; mais ces moyens étaient insuffisants. Cependant à Calais, on fixe les portes au moyen de grandes barres réunissant les portes d'ebbe et les portes de flots. Mais cela ne peut pas s'employer dans les ports où il y a un grand mouvement, car à chaque marée il faudrait faire des manœuvres trop longues.

On se sert alors de portes-valets qui viennent contrebuter la porte du côté opposé aux buscs. Ces valets sont des portes sans bordages; elles s'appuient, d'une part, sur l'angle de l'enclave opposé au chardonnet et de l'autre sur des coins ou taquets fixés à la porte.

Au moyen de ces valets, les portes d'ebbe peuvent remplacer les portes de flot, et empêcher la mer d'entrer dans les bassins; mais ce moyen fatigue les portes et ne donne pas une fermeture étanche.

On voit qu'il n'y a pas de système général à adopter pour la construction des portes d'écluse. Il y a beaucoup à étudier et à comparer. Chaque cas particulier exige une étude particulière. A la vérité, il ne s'agit pas toujours d'imiter ce qui a été fait, mais les résultats fournis par l'expérience sont des éléments d'une très-grande utilité pour l'ingénieur qui sait bien observer.

Il faut autant que possible adopter un système simple, sans cependant compromettre la solidité, et s'assurer du succès par une étude approfondie du projet et par une surveillance rigoureuse dans l'entretien.

Nous terminerons en faisant connaître les portes du bassin du Roi au Havre. La *fig.* 54, *Pl. XI*, représente ces portes, décrites en ces termes dans l'*Histoire du port du Havre.*

Le conseil des Ponts et Chaussées avait arrêté que la porte de l'écluse Notre-Dame, du côté de l'élargissement, serait construite en deux parties sur sa hauteur; la première ayant son poteau tourillon

dans l'ancien bajoyer, et la deuxième ayant son poteau tourillon dans le bajoyer reculé; on évitait ainsi d'avoir des entretoises inférieures d'une grande portée; mais cette disposition présentait de grandes difficultés d'exécution, et surtout des embarras et des longueurs de manœuvre qu'il faut toujours éviter, surtout dans un port où l'on doit utiliser tout le temps de la mer haute. M. Frissard n'a donc pas hésité à construire la porte d'un seul morceau en plaçant le poteau tourillon dans le bajoyer reculé et en faisant appuyer les entretoises inférieures contre la retraite de l'ancien bajoyer; mais, pour diminuer la grandeur de la porte du côté de l'élargissement, il n'a pas placé le sommet du busc au milieu de l'ancien passage, il l'a reporté de 1 mètre du côté de l'élargissement. Il avait donc d'un côté une porte pour un passage de 14 mètres, et de l'autre une porte pour un passage de 18 mètres; mais, pour cette dernière, les entretoises inférieures avaient un appui de 3 mètres.

Dans son voyage en Angleterre, M. Frissard avait remarqué que les portes des bassins de Bristol étaient en sapin, et que les bordages étaient placés verticalement au lieu d'être en diagonale. Ces portes se manœuvraient facilement et devaient durer 30 ans. Il pensa que l'occasion était favorable pour faire l'expérience de ce système; il construisit donc les deux portes de l'écluse Notre-Dame en sapin, à l'exception cependant des poteaux tourillons et busqués et de l'entretoise supérieure qui sont en chêne. Les bordages sont aussi en sapin; ils n'ont que $0^m,08$ d'épaisseur et sont placés verticalement. Pour que cette disposition soit avantageuse, il faut donner une courbure extérieure aux entretoises, parce qu'alors la poussée de l'eau tend à serrer les joints des bordages, ce qui ajoute à la rigidité de la porte et la rend plus étanche. Les entretoises du grand ventail ont $0^m,50$ d'épaisseur au milieu, et $0^m,40$ à leurs extrémités, ce qui leur donne extérieurement une courbure de $0^m,10$ de flèche. Pour remplacer les bracons en bois, qui donnent lieu à des assemblages qui affament les entretoises, on a placé trois tirants en fer formant avec les branches des équerres, et les trois plates-bandes en fer placées sur les traverses supérieures, nférieures et du centre, des triangles qui rendent le système invariable.

Les roulettes mises par précaution à l'extrémité de chaque ventail sont jusqu'à présent inutiles, car les portes flottent et tendent plutôt à soulever leur collier qu'à l'arracher.

## PONTS MOBILES.

Pour mettre en communication les différentes parties d'un port, séparées par les bassins, les darses ou les canaux maritimes, on construit des ponts mobiles. Comme nous en avons déjà parlé dans notre premier volume, nous ne nous occuperons ici que de ceux qui sont particuliers aux ports de mer.

Les plus employés sont les ponts-levis, les ponts tournants et les ponts à bascules.

**Ponts-levis.** — Nous avons donné la description des ponts-

levis dans le *Cours de ponts*, page 334, tome I[er] de la *Partie pratique*.

**Ponts tournants.** — Ce sont de tous les ponts mobiles ceux que l'on emploie le plus généralement dans les ports de mer. Ils sont en bois ou en fonte.

Les ponts tournants en bois se composent essentiellement d'un cours de poutres ou longerons réunis par les chevêtres de culée et de volée. Ces pièces sont consolidées par les sous-poutres, lesquelles sont supportées par de fortes traverses, formant moises s'appuyant sur le pivot.

Le tablier se compose de deux parties, la culée et la volée. Le pivot que l'on place tantôt au centre, tantôt sur le côté, sépare ces deux parties. La culée est logée dans un encuvement circulaire en pierre de taille dont le rayon égale la distance du pivot à l'extrémité de la culée.

La voie se compose d'un cours de bordage que l'on recouvre d'un plancher en bois tendre, sur lequel les pieds des chevaux ont plus de prise. Ces ponts sont tellement glissants, par suite de la pente qu'on est obligé de leur donner, qu'on a quelquefois exécuté le deuxième plancher avec des redants pour faciliter encore davantage l'effort des chevaux. On sent combien il est important de ne donner à ces ponts que la largeur strictement nécessaire : une voiture peut seule y passer à la fois ; on garantit les bordages en disposant sur la petite zone où les roues passent continuellement, une bande de fer ou de tôle.

Des trottoirs sont indispensables, surtout quand la longueur du pont est un peu considérable.

Au Havre, sur un pont récemment construit pour un passage de 21 mètres, y compris les culées, on avait cru pouvoir s'en dispenser; mais les piétons s'engageant quelquefois sur le pont en même temps qu'une voiture, il arrivait des accidents tels, que l'on fut obligé de construire après coup des trottoirs en encorbellement.

Voici comment se fait la réunion des deux volées. Sur l'une des moitiés du pont, le chevêtre de volée présente une saillie qui a la section d'un demi-cercle, et qui pénètre dans une rainure de même forme du chevêtre opposé. Une bande métallique sépare ces surfaces pour éviter la pénétration des fibres. Quelquefois cette saillie est remplacée par deux demi-œufs en fer qui entrent dans deux mortaises de même forme qui leur correspondent.

Pour éviter la flexion de la culée et de la volée, on relie les extrémités des chevêtres au sommet de pilastres portés par la traverse de pivot. Ces pilastres sont en fer ou en fonte. On réduit leur hauteur autant que possible, afin de ne pas gêner les manœuvres des navires. Dans plusieurs ponts ces pilastres sont mobiles autour d'une charnière, et on les rabat avec les chaînes de retenue lorsque le pont est ouvert. On préfère des bandes articulées en fer méplat aux chaînes de retenue. La volée est en outre consolidée par des contre-fiches placées au-dessous. Ces contre-fiches peuvent être fixes ou mobiles. Lorsque le pont est centré sur son axe, ses côtés sont supportés par des roulettes, ou par une couronne de boulets ou ga-

lets contenus entre deux bandes de fer, l'une scellée dans l'encuvement, l'autre mobile avec le pont. Si le pivot est sur le côté, il y a une roulette du côté opposé sous la traverse de pivot, et une ou plusieurs roulettes d'acculement sur lesquelles repose la culée lorsque le pont manœuvre et lorsqu'il est ouvert.

Dans leur manœuvre, les ponts tournants exécutent deux mouvements : l'un de bascule pour séparer les deux volées qui s'arcboutaient, l'autre de rotation autour du pivot.

Le mouvement de bascule s'obtient par des verrins ou des châssis à règles parallèles et à charnière.

Le mouvement de rotation est facilité par des roulettes dont nous venons de parler. Lorsque le pont est en place, on met des coins sous la culée et sous la volée pour soulager les verrins ou les parallélogrammes articulés.

**Pont du bassin de la Barre, au Havre.**— Autrefois la manœuvre des contre-fiches se faisait au pont du Havre à l'aide de treuils amovibles qu'on plaçait sur le tablier, et sur lesquels on enroulait une chaîne passant au travers de trous percés dans le plancher. Ce système a été simplifié par l'emploi de treuils fixes, placés sous la culée comme au pont de Cherbourg. Mais ces manœuvres étaient toujours longues, et il est de la plus grande importance que les communications interceptées pendant le long temps de l'étale soient rétablies aussi vite que possible.

M. Chevallier a supprimé complétement ces manœuvres dans le pont qu'il vient de construire pour le bassin de la Barre, en fixant les contre-fiches aux sous-poutres. Par conséquent, au lieu de se relever, elles tournent avec le pont et vont se placer dans le bajoyer de l'écluse, où leur place est réservée par des enclaves à gradins.

Ces contre-fiches ne sont pas disposées parallèlement aux têtes du pont, leurs extrémités convergent vers l'axe du pont, c'est-à-dire vers la partie la plus fatiguée par la charge.

Les pilastres sont fixes, mais très-bas; des moufles à clavettes permettent de modifier à volonté la longueur des chaînes de tension. Le système est parfaitement triangulé. Au lieu de se servir de verrins pour opérer le mouvement de bascule du pont, on emploie un chevalet placé sous la culée. Ce chevalet n'est autre chose qu'un parallélogramme articulé, qu'on lève ou qu'on abaisse au moyen de leviers. Le pont est soutenu en avant par des taquets fixés à la sous-poutre et en arrière par des coins.

**Système Raffeneau de Lisle.** — M. Raffeneau a perfectionné les ponts tournants. Dans son système la manœuvre est plus courte et ne peut être imparfaite, malgré la négligence des pontonniers ; enfin le public ne peut pas aborder le tablier, lorsqu'il ne porte plus sur les contre-fiches.

Les ponts tournants de M. Raffeneau ont leur pivot sur l'axe ou sur le côté ; cette dernière disposition permet de réduire d'une manière notable la longueur de la culée, mais le pont n'est plus aussi bien en équilibre. Quand le pivot est sur l'axe, le pont repose sur une couronne de boulets, dont chacun est enfermé dans un cercle en fer, mais sans être traversé par un axe. Quand le pivot est sur le

côté, une roulette soutient le pont du côté opposé. On pourrait en mettre plusieurs. Dans ces deux systèmes, les contre-fiches, au lieu de se relever, décrivent une surface conique et viennent se rabattre contre le bajoyer de l'écluse. Pour que ce mouvement soit possible, l'extrémité inférieure de chaque contre-fiche repose sur un sabot conique en fonte; l'extrémité supérieure n'est pas fixée invariablement au longeron. Quand le pont est fermé, les deux pièces s'arc-boutent au moyen d'un sabot en fonte qui s'appuie sur la tête de la contre-fiche; mais ce contact cesse lorsque le pont a basculé. Le longeron seul s'est élevé et soutient la contre-fiche à l'aide d'une articulation qui sert à les relier. Dès lors le mouvement de rotation de la contre-fiche, qui ne supporte plus aucun effort, peut se faire avec facilité.

Le mouvement de bascule s'obtient au moyen d'un parallélogramme articulé qui soutient la culasse. Ce parallélogramme est mis en mouvement par une barrière fermée, quand la communication est interceptée, et que l'on ne peut ouvrir que quand la manœuvre du pont est complétement terminée. A cet effet, un petit mentonnet en fer, fixé à l'extrémité de la culasse, s'engage dans une rainure de l'encuvement; cette rainure se termine par un petit ressaut précédé d'un pan coupé. Si le pont tournant est fermé, le mentonnet se trouve dans la verticale où on a pratiqué le ressaut de la rainure. Le mouvement de la barrière, en élevant le parallélogramme, le logera dans cette excavation; mais si le public voulait ouvrir la barrière et passer avant que le pont ne fût parfaitement en place, il en serait empêché par le mentonnet qui s'appuierait sur la rainure et ne pourrait pas se relever. Enfin le pont ne peut pas prendre imparfaitement sa position, car s'il n'était pas tout à fait ouvert, le mentonnet se trouvant dans la région qui correspond au pan coupé, glisserait sous l'action du parallélogramme mû par la barrière jusque dans le ressaut, et l'ouverture du pont se compléterait.

La *fig.* 55, *Pl. XI*, représente un pont tournant avec pivot sur l'axe, avec les détails du chariot en boulets.

La *fig.* 56, *Pl. XII*, représente un pont tournant avec pivot sur le côté et ses principaux détails.

**Ponts à bascule.** — Les inconvénients que Lamblardie avait reconnus aux ponts-levis et aux ponts tournants, lui firent imaginer et appliquer au Havre une espèce particulière de ponts mobiles, les ponts à bascule. Les poteaux montants et la flèche relevée à une hauteur assez grande dans les ponts-levis sont autant d'obstacles au libre passage des bâtiments : il peut résulter en outre pour le pont des avaries assez considérables, sa position donnant beaucoup de prise aux vents et l'exposant à des chocs continuels de la part des navires. Les ponts tournants, de leur côté, ont un tablier très-long et exigent une grande longueur de bajoyer; leur poids est augmenté par celui du lest; chaque moitié du tablier a une pente pour faire arc-bouter les deux volées. Enfin, malgré les précautions que l'on prend pour les soutenir, les volées finissent toujours par s'arquer plus ou moins.

Les ponts à bascule se composent de deux parties mobiles autour d'un axe horizontal (*fig.* 57, *Pl. XII*).

Cet axe a en même temps un mouvement de rotation et de translation, de sorte que pendant que le pont s'élève, il recule sur le bajoyer. La culée pendant cette manœuvre s'enferme dans une chambre en maçonnerie. La manœuvre se fait à l'aide de deux treuils de chaque côté, agissant sur la chaîne d'un palan attaché à la culée et passant sur une poulie au fond de la cave. Lorsque le pont est fermé, on soutient la culée par un valet. Les contre-fiches sont mobiles et se relèvent verticalement en même temps que le pont. Elles sont reliées au tablier par une barre régide. Il a fallu déterminer les points d'attache de cette barre, par la condition que le pont étant levé, les contre-fiches vinssent s'appliquer exactement dans les rainures pratiquées pour les recevoir.

Ces ponts ont l'avantage de n'occuper que peu de place en longueur, et d'exiger peu de temps pour leur manœuvre; de plus, à cause du mouvement de translation du pont, le halage des navires n'est pas gêné comme dans les autres systèmes. Mais les inconvénients signalés pour les ponts-levis, diminués il est vrai, n'ont pas disparu, puisque la volée et les contre-fiches se relèvent verticalement. Un autre inconvénient plus grave encore, consiste en ce que, malgré tous les soins donnés à l'exécution des maçonneries, il y a toujours des filtrations dans les caves qui donnent lieu à des épuisements continuels.

## DÉFENSE DES COTES.

Partout où la mer attaque des constructions ou envahit des terrains d'une grande valeur, on s'oppose à son action par des travaux de défense, qui tantôt amortissent les vagues avant qu'elles atteignent les plages à défendre, tantôt procurent une résistance suffisante, tantôt enfin déterminent des atterrissements et la formation des plages artificielles.

Dans la Méditerranée, la vague n'agit que sur une hauteur de 1 mètre à $1^{m},50$. Aussi y a-t-il peu de travaux de défense dans cette mer, qui n'a ni les marées de l'Océan, ni les courants qui en résultent sur les côtes, et qui n'est pas sujette à des tempêtes aussi fréquentes.

Sur les côtes de l'Océan, toute la zone comprise entre les laisses de haute et de basse mer est exposée aux attaques des vagues.

Les ouvrages de défense consistent en enrochements, brise-lames, digues, épis, perrés, estacades et murs.

**Enrochements.** — Des enrochements submersibles ou insubmersibles, continus ou discontinus, souvent dirigés perpendiculairement à la direction des vents régnants, défendent les plages Les enrochements ne sont guère employés que dans la Méditerranée.

**Brise-lames.** — Des môles en maçonnerie ou en charpente, ou des piliers formant des môles discontinus et orientés comme les enrochements, produiraient le même effet.

Brémoutier avait proposé de construire deux môles à l'entrée de la baie de Saint-Jean de Luz pour défendre la plage au fond de la baie. Leur construction n'aurait pas été probablement plus dispendieuse que tous les travaux exécutés depuis et successivement pour défendre directement cette côte.

**Digues.** — Les digues défendent de grandes longueurs de côtes. Elles sont insubmersibles et s'élèvent de 1m,50 à 3 mètres au-dessus des hautes mers. Leur épaisseur au sommet est de 2 à 3 mètres. Leur talus inférieur à 1m,50 de base, et du côté du large, elles ont 3, 4 et même 12 mètres de base pour 1 de hauteur.

Sur quelques digues, le talus se relève vers la laisse de haute mer, suivant la forme de la plupart des plages naturelles. Au reste, il est rare qu'une digue en terre conserve son profil primitif. L'expérience indique dans chaque localité la forme qu'on doit préférer.

Ces digues garantissent ordinairement des terrains livrés à la culture et qui seraient couverts à mer haute. Les filtrations et les eaux pluviales, reçues dans un contre-fossé intérieur, s'écoulent pendant la basse mer. Ce contre-fossé est séparé de la digue par une risberme. Un carré de sable empêche les rats et les taupes de percer la digue.

Nous avons, sur nos côtes, des terrains ainsi défendus. On peut citer les digues de Bouin et Bourgneuf, sur la rive gauche de la Loire, et celles de Noirmoutier, qui ont servi à conquérir des terrains assez considérables.

**Revêtements des digues.** — Le profil des digues varie avec les matériaux disponibles; mais quelquefois on ne peut les conserver qu'en les garantissant vers le large, au moins par des revêtements qui varient beaucoup de nature suivant les localités.

**Gazonnage.** — On peut revêtir des talus très-inclinés avec des plaques de gazon, posées à plat comme les dalles d'un perré, ou de champ comme les perrés ordinaires. Ce revêtement est souvent employé par le génie militaire dans les profils des fortifications. Il ne résiste pas à une mer agitée.

**Paillassonnage.** — Pour revêtir un talus en paillassonnage, on le couvre d'une couche de paille longue de 0m,05 d'épaisseur qu'on fixe au talus par des cours ou liens horizontaux, distants de 0m,20 à 0m,25. Ces liens sont appliqués de 0m,25 à 0m,25 à peu près, à l'aide d'une fourchette en fer qui les enfonce dans la digue.

Les paillassonnages coûtent de 0f,35 à 0f,40 le mètre carré. Leur durée n'est que d'une année. Ils exigent un entretien continu, mais facile.

On a fait des ouvrages de ce genre à Saint-Valéry-sur-Somme.

**Fascinage à plat et clayonnage.** — Les fascinages à plat avec clayonnage pour la défense des côtes se composent d'une couche de 0m,05 de paille, roseaux ou longues bruyères et d'une couche de fascines de 0m,15 d'épaisseur fixées par des piquets entre lesquels on entrelace des clayons ou gaulettes flexibles retenus par une cheville ou une crossette à la tête des piquets. Les piquets sont

distants de $0^m,33$ et forment avec les clayonnages des lignes distantes de $0^m,50$, quand on remplit l'intervalle de blocailles, et seulement de $0^m,33$, quand l'intervalle est vide.

**Tunages.** — Lorsque ces moyens de défense ne paraissent pas suffisants, on fait non-seulement des clayonnages dans le sens longitudinal, mais aussi dans le sens transversal. On forme ainsi des cases qui constituent ce qu'on appelle un tunage. Ces cases se remplissent de sable, de blocailles ou de libages. La mer enlève quelquefois les blocailles, et s'en sert pour détruire les clayons et les fascines.

Ici comme dans le cas précédent, on a sous les fascines une couche de paille de $0^m,05$, afin que la vague pénétrant à travers les fascines, achève de s'y diviser, et n'occasionne pas d'avaries plus avant.

**Fascinages en retraite.** — Lorsque les talus sont plus roides, on les garnit d'un fascinage en retraite. Chaque retraite a la hauteur d'une ou deux rangées de fascines superposées, et les couches sont reliées entre elles par des piquets.

On peut mettre les différentes rangées de fascines toutes dans le même sens, ou bien alternativement une rangée en long et l'autre en travers.

**Fascinages de soutènement.** — On construit des fascinages de soutènement en avant des plages abruptes; ils se composent de couches de fascines normales à la plage, réunies par des lignes de piquets et clayons, et entre lesquelles on met des blocailles.

**Fascinages en barbe.** — Dans les fascinages en barbe, le gros bout des fascines est engagé dans la terre et le petit bout flotte dans la mer. On les compose de radeaux qu'on échoue en les chargeant de pierres ou de terre, et l'on intercale des saucissons. La paroi est ainsi composée de lignes de saucissons, séparées par les barbes qui divisent bien la lame. Tous les travaux en fascinage doivent être incrustés dans le sol, ou établis sur une fondation qui les défend contre les affouillements.

**Plates-formes.** — On a exécuté en Hollande, pour la défense des côtes, des plates-formes qui avaient jusqu'à 3200 mètres carrés; ces plates-formes se composaient de neuf couches. Les deux premières, les plus basses, sont formées chacune d'un cours de saucissons parallèles équidistants de 1 mètre à $1^m,10$. Ces cours sont liés à chaque point d'intersection par une corde goudronnée. Les saucissons ont $0^m,14$ à $0^m,15$ de diamètre, et leur largeur est de 30 mètres pour la couche inférieure et de 100 mètres pour la couche supérieure.

Le grillage ainsi formé porte la troisième couche en baguettes ou clayons de $0^m,07$ de tour, tant pleins que vides; la quatrième, de $0^m,12$ d'épaisseur, en paille ou roseaux; la cinquième en fascines transversales de $0^m,15$ à $0^m,20$ de diamètre; la sixième en fascines longitudinales; la septième et la huitième en saucissons, et qui forment un grillage relié par les mêmes cordes que le grillage inférieur; enfin la neuvième couche composée de haies de clayonnages de $0^m,40$ de saillie.

La plate-forme ainsi formée a $1^m,40$ d'épaisseur. Elle est construite sur une plage qui couvre et découvre; mais elle ne peut flotter sans danger qu'après la pose du second grillage. Lorsqu'elle est à flot, on l'enfonce jusqu'au niveau du dessus, en chargeant les cases avec du gazon; puis on la remorque jusqu'au lieu d'échouage. Cette opération se fait par un chargement de blocailles et de gazon également répartis sur la surface.

Ces plates-formes coûtaient 5 fr. 90 c. le mètre carré, non compris les frais de chargement. Elles ont été employées avec succès pour défendre le fond sur des rivages profonds et corrodés par les courants. Elles peuvent servir pour le barrage d'une crique à atterrir, la fermeture d'une brèche, les fondations d'un fascinage à barbe, etc.

Les petites plate-formes prennent le nom de claies.

**Epis.** — Les épis provoquent les alluvions en diminuant l'agitation de la mer et la vitesse des courants. Ils arrêtent les alluvions pour former une plage artificielle et conservent les plages anciennes. Les épis sont normaux aux rivages ou aux courants, afin de les ralentir.

Les épis diffèrent par leur destination, leurs dimensions et la nature des matériaux employés dans leur construction.

**Nolles.** — Lorsqu'on ne peut réunir les deux parties d'une digue rompue, on les termine chacune par un large musoir aplati et construit en fascinages. Ces musoirs défendent les digues conservées et n'empêchent pas les atterrissements nouveaux. On les appelle *nolles* en Flandre.

**Perrés.** — Les perrés peuvent être employés, mais on doit toujours craindre que le clapotage ne délave les terres de la digue et ne les entraîne; alors les perrés se déforment, et si la mer peut agiter les pierres, elles en frappent les parties conservées de la digue et les détruisent. Il faut donc composer les perrés à la mer d'une couche de forts matériaux recouvrant des couches de matériaux plus faibles en s'approchant de la digue. Celle-ci doit être couverte immédiatement d'une couche de pierrailles. C'est à la hauteur de mi-marée que les perrés sont le plus promptement détruits, c'est pourquoi il convient de les renforcer à cette hauteur.

## OUVRAGES ACCESSOIRES.

**Aqueducs.** — Les eaux pluviales qui s'écoulent sur la voie publique sont loin d'être pures. Pour empêcher les dépôts dans les ports et les bassins, on entoure ceux-ci d'aqueducs qui débouchent à la mer et y conduisent les eaux. L'orifice d'amont est couvert par une grille en fer, afin de retenir les corps qui obstrueraient l'aqueduc. L'orifice d'aval est fermé par une vanne ou par un clapet que le flot ferme, en sorte que la mer ne peut entrer dans l'aqueduc. Il arrive quelquefois que la vanne ou le clapet restent ouverts, et si c'est un jour de grande marée, les eaux débouchent par les orifices dans les bas quartiers des villes. On recouvre alors les bouches de caisses en bois dans lesquelles les eaux s'élèvent.

**Machines à mâter.** — Les machines à mâter sont des grues puissantes et très-élevées qui servent à la pose des mâts des navires.

Dans les ports de commerce, elles se composent de deux bigues retenues à leur tête par des haubans, et à leur milieu par des contre-fiches, pour empêcher la flexion. Ces bigues portent une caiorne qui saisit le mât, et dont le garaud s'enroule sur un cabestan.

Les machines à mâter des ports de guerre ont des dimensions plus considérables, en raison des mâts qu'elles soulèvent. Ainsi le bas mât d'un vaisseau à trois ponts a $1^m,04$ de diamètre, $32^m,90$ de longueur, et pèse environ 16642 kilogrammes.

Dans quelques ports, on se sert de machines à mâter disposées sur des pontons et sur de vieux vaisseaux; mais le plus souvent ces machines sont à terre et élevées sur un soubassement qui permet de réduire les dimensions des bigues. La machine de Copenhague et celle de Venise, par M. de Lessan, ne sont que des échafaudages établis sur des tours en maçonnerie.

On a établi au Havre des machines à mâter très-puissantes, dont les bigues sont des tuyaux en tôle.

**Grues.** — Le chargement et le déchargement des navires s'exécute avantageusement avec des grues fixes ou amovibles disposées sur le bord des quais. On est obligé dans chaque port d'avoir une grue très-puissante pour enlever et poser les chaudières des grands bateaux à vapeur, qui pèsent jusqu'à 25000 kilogrammes, et pour enlever les lourds fardeaux, tels que blocs de marbre, etc.

**Eclairage.** — Les quais sont éclairés par des réverbères à l'huile ou au gaz; leur disposition et leur forme doivent être étudiées avec soin. Les quais des ports de mer ont été longtemps éclairés aux frais de l'Etat, mais aujourd'hui tout ou partie de cet éclairage est à la charge des villes.

**Sauvetage.** — Il y a dans chaque port un magasin qui renferme les apparaux de sauvetage, tels que cordages, bouées en liége, etc.

On a construit des canots légers et lestés de manière à reprendre leur position lorsqu'ils chavirent, en sorte que des rameurs, attachés sur leurs bancs, peuvent sortir dans ces canots par les plus mauvais temps. Ces canots seraient très-utiles s'ils se trouvaient sur les lieux à l'instant du danger, mais ils y arrivent le plus souvent trop tard. Les naufragés doivent surtout compter sur le dévouement ou le courage des gens de mer.

Si on peut envoyer une petite amarre à un navire en danger, il est facile de lui faire parvenir un cordage à la suite, et ensuite un câble. Les marins établissent alors un va-et-vient qui peut sauver l'équipage.

On a essayé au Havre d'envoyer une amarre avec une bombe à un bâtiment au large. Cette amarre était enroulée près du mortier; la bombe l'entraînait en la déroulant et la faisait passer par-dessus le navire, sur lequel elle tombait. Ces expériences ont réussi, mais par un beau temps. Si la mer était mauvaise, le navire, agité, ne présenterait pas toujours le flanc, et la bombe et l'amarre seraient déviées par le vent. On a renouvelé récemment ces expériences sui-

vant les procédés du capitaine Delvigne, qui consiste à renfermer l'amarre dans un cylindre en bois d'où elle se déroule. Ce cylindre vient tomber dans le navire ou flotter sur ses flancs.

**Bouées, corps morts.** — Les bouées sont des flotteurs en bois, en liége, ou en métal, ou en tôle, qui servent à touer les navires, à les amarrer ou à signaler des écueils. On a mis sur quelques bouées des clochettes qui les signalent pendant la nuit.

Les bouées sont attachées au fond par des points fixes appelés corps morts. Ces corps morts sont des ancres, des blocs de fonte ou des canons moisés, formant ainsi un grand poids, ou des pieux battus et recepés au niveau du fond.

**Tours des signaux.** — On élève souvent des tours de signaux pour indiquer les passes et les hauteurs d'eau. Quelquefois on n'a qu'un mât, au sommet duquel on hisse des signes conventionnels, suivant les circonstances.

Sur le musoir de la jetée nord, au port du Havre, existait un mât qui portait une flamme tant qu'il y avait 10 pieds d'eau dans le chenal. M. Frissard a remplacé cette flamme par de gros ballons. Le premier ballon était hissé au sommet du mât dès qu'il y avait 10 pieds d'eau dans le chenal; on en hissait un second lorsqu'il y avait 11 pieds, et ainsi de suite. Les variations de 6 pouces étaient indiquées par une flamme. Cet appareil, qui a fonctionné pendant dix ans, a été remplacé par une mâture établie sur la tour de François I^er^. Les ballons sont fixés aux mâts et aux vergues.

**Balises.** — On appelle balises des tours, des mâts ou des perches servant à indiquer des passes ou des écueils. Les balises en maçonnerie sont elles-mêmes des écueils, mais elles sont visibles et signalent un danger caché.

**Fosses aux mâts.** — Les fosses aux mâts sont des enceintes où l'on conserve les bois de construction. Ces établissements sont importants dans les ports militaires, où il y a de grands approvisionnements. Les bois sont immergés dans un mélange d'eau douce et d'eau salée, qui ne doit contenir que 25 grammes de sel par litre. L'eau de mer conserve mieux les bois que l'eau douce; mais si elle est pure, les tarets pénètrent bientôt dans les fosses. Lorsque les bois sont alternativement immergés et émergés, il faut fixer la hauteur des fosses de manière que les tarets ne puissent y vivre, parce qu'ils seraient privés d'eau pendant un temps trop long; mais il existe une zone dans les ports à marée où les bois sont immergés trop peu de temps et où les effets de l'immersion sont de déterminer leur pourriture en peu d'années. C'est entre les hauteurs limites de la pourriture et de l'existence du taret qu'il convient de placer les dépôts de bois. M. Sganzin, ingénieur en chef à Lorient, a étudié cette question importante et a fixé les fosses à la cote des hautes mers de morte eau, en leur donnant $1^m,30$ de hauteur.

Les bois sont enclavés par des traverses entre des pieux enrochés pour résister à la force d'immersion. Bélidor a proposé de retenir les montants par de la maçonnerie, et les Anglais ont adopté à Wolwich un système plus dispendieux, en conservant les bois dans des réservoirs en maçonnerie voûtée.

Les fosses aux mâts sont fermées par une paire de portes d'èbe ou par une paire de portes d'èbe et de flot, suivant leur hauteur par rapport à la mer. Celle de Lorient a coûté 200000 fr., et celle de Rochefort 500000 fr.

**Lazarets.** — Les navires sont retenus dans les lazarets lorsqu'ils viennent d'un pays où règnent des maladies contagieuses. Après une quarantaine d'une durée déterminée par l'intendance sanitaire, les navires sont admis à la libre pratique.

Quelquefois les navires doivent décharger et aérer leurs marchandises, en les soumettant à des manipulations prescrites. Un lazaret est donc un port isolé et à peu près complet où les navires doivent trouver un abri sûr, des quais et des magasins. Le lazaret de Marseille, entre les îles de Pommègue et de Ratonneau, est un des mieux établis.

L'expérience a prouvé qu'on s'exagère l'importance des quarantaines, et beaucoup de puissances ont réduit leur durée ou les ont supprimées, à cause des entraves qu'elles apportent au commerce. Elles ne sont guère nécessaires que pour la peste; mais, pour les fièvres jaunes, elles ne sont qu'une entrave sans utilité.

# NOTIONS D'ARCHITECTURE.

## DES CINQ ORDRES D'ARCHITECTURE ET DE LEUR ORIGINE.

Les cinq ordres se désignent, comme on sait, par les dénominations suivantes : le *Toscan*, le *Dorique*, l'*Ionique*, le *Corinthien* et le *Composite*. Leur création a eu pour but de satisfaire au projet que l'on peut avoir de donner aux édifices un caractère plus ou moins massif et de les charger plus ou moins d'ornements. C'est sur ces deux objets principalement que repose la distinction de ces ordres.

Le Toscan se fait remarquer par la simplicité de ses moulures ainsi que par le caractère de rusticité que portent tous ses membres. Le Dorique est l'ordre par excellence, l'ordre des héros; il porte avec lui un caractère de virilité, et se distingue par les triglyphes qui ornent la frise de son entablement.

L'Ionique se connait par les volutes de son chapiteau : il tient le milieu, par ses proportions et ses ornements, entre le dorique et le corinthien.

Le Corinthien, dont les attributs sont l'élégance et la délicatesse, et dont toutes les parties sont susceptibles de la plus grande richesse, se connait par les volutes de son chapiteau.

Le Composite tient des deux précédents, il est d'une élégance moyenne entre eux; il se distingue par les feuilles et les volutes qui ornent son chapiteau.

## PROPRIÉTÉS COMMUNES AUX DIFFÉRENTS ORDRES.

**Des degrés.** — Les degrés, marches servant d'entrée ou de soubassement aux grands édifices, doivent toujours être en nombre impair, afin qu'ayant mis le pied droit en montant sur le premier degré, il se rencontre aussi sur le dernier.

**Des piédestaux.** — Le piédestal, soubassement d'une file de colonnes avec base et corniche, aura meilleure grâce si l'on fait des saillies au droit de chaque colonne, en manière d'escabeaux. Si l'on veut faire des accoudoirs entre les piédestaux, il faudra qu'ils soient de la hauteur de ces derniers, et que les corniches des uns et des autres se rapportent et soient semblables.

**De la diminution des colonnes.** — Toutes les colonnes doivent aller en diminuant vers le haut; outre que cette pratique augmente leur solidité, cela leur donne encore plus de grâce; toutefois cette diminution devra être moindre dans les grandes colonnes, dont la partie supérieure, plus éloignée de la vue, apparait par conséquent plus étroite : cette diminution aura lieu pour le bas et pour le haut, afin que la colonne ait vers son milieu comme un ventre que l'on appelle vulgairement *renflement*.

Lorsque l'on met plusieurs rangs de colonnes, celles du second rang doivent être plus petites et plus minces que les premières, et lorsqu'on fait des portiques ayant des colonnes aux encoignures, il faut que les colonnes du milieu soient plus minces d'une cinquantième partie.

**Des cannelures.** — Les cannelures, espèce de petits canaux creusés de haut en bas à la surface d'une colonne ou d'un pilastre, se distinguent en trois espèces; les deux premières sont particulières à l'ordre dorique; la troisième est commune à l'ionique, au corinthien et au composite.

Les deux premières, d'un caractère plus simple que la dernière, ne s'emploient pas aussi souvent qu'elle. Celle qui ne fait que des pans et des faces plates est la plus simple de toutes; l'autre a quelque cavité, mais fort légère, du reste. L'une et l'autre de ces deux espèces se mettent au nombre de vingt. Celle qui est commune aux ordres ionique, corinthien et composite se met au nombre de vingt-quatre, et quelquefois de trente-deux, lorsqu'on veut faire paraître les colonnes plus grosses qu'elles ne le sont. Ces cannelures sont beaucoup plus creuses ou enfoncées que celles de l'ordre dorique.

**Des frontons.** — Le fronton, ornement d'architecture qui est fait ordinairement en triangle et qui se construit au haut de l'entrée d'un bâtiment, au-dessus des portes, des croisées, etc., se compose du tympan et des corniches. Pour avoir la hauteur du tympan, on partage toute la largeur qui se trouve entre les deux extrémités de la cymaise du larmier, sur lequel le fronton doit être posé; on partage cette largeur, disons-nous, en neuf parties, et l'on en donne une au tympan; l'épaisseur de la corniche ajoutée à cette neuvième partie fera la hauteur totale du fronton. Le tympan doit être à plomb du nu de la gorge de la colonne.

**Des corniches.** — La corniche est composée de moulures en saillie l'une au-dessus de l'autre, et sert de couronnement à toutes sortes d'ouvrages, principalement dans les ordres d'architecture, où elle est placée sur la frise de l'entablement.

Une propriété commune à toutes les corniches, c'est qu'il faut que la corniche du fronton soit semblable à celle de dessous, à la réserve de la dernière grande cymaise ou grande doucine qui ne doit pas être sur la corniche inférieure au fronton, mais qui passera sur les corniches en pente sur le fronton. Cette grande cymaise doit avoir de hauteur une huitième partie de plus que la couronne ou larmier.

**Des acrotères.** — Les acrotères, que les anciens plaçaient sur les extrémités rampantes et au sommet des frontons des temples, sont trois piédestaux que l'on met sur les coins et au milieu du fronton pour porter des statues. Les acrotères des coins doivent être aussi hauts que la plus grande hauteur du tympan, mais l'acrotère du milieu doit avoir de hauteur une huitième partie de plus que les deux autres.

Le nom d'acrotères se donne aussi à ces espèces de piédestaux que l'on met de distance en distance dans les balustrades, de ma-

nière que les balustres répondent sur la vitre, et les acromètres sur le plein.

Les mesures employées en architecture sont les modules et parties de modules. On peut cependant, pour faciliter l'exécution des dessins, établir des échelles au dixième d'exécution, c'est-à-dire de 10 centimètres par mètre, laquelle servira de base à tous les ordres comme à toute espèce d'ornements, et même à la connaissance générale de l'architecture décimale; de cette manière la pratique deviendra d'une application beaucoup plus commode. Nous supposerons que 1 mètre doit remplacer $3 \frac{1}{2}$ modules, et à cet effet nous donnerons leur comparaison avec le nouveau système.

## ORDRE TOSCAN.

L'ordre toscan, qui est le plus simple des cinq ordres, doit son origine à d'anciens peuples de la Lydie venus d'Asie en Italie pour s'établir en Toscane.

Chez les anciens, la colonne toscane s'élevait quelquefois sans entablement. Ils la faisaient servir, de même que la colonne dorique, à perpétuer le souvenir des hommes illustres qui, par leur génie, leurs travaux ou leur bravoure, avaient rendu des services signalés à la patrie. C'est dans la Rome antique qu'il fallait aller chercher les plus beaux modèles en ce genre. La colonne Trajane et la colonne Antonine en sont, parmi tant d'autres, une preuve remarquable. La colonne Trajane a servi de modèle à la colonne de la place Vendôme, monument national élevé par Napoléon le Grand à la gloire des armées françaises, et fait avec le bronze de douze cents pièces de canon prises à l'ennemi durant une campagne de trois mois. La colonne Vendôme se fait surtout remarquer par la richesse de la matière, par la finesse admirable des sculptures et par l'exécution la plus soignée. On peut, à bon droit, dire avec l'illustre Béranger :

> On est heureux d'être Français,
> Quand on regarde la colonne.

La colonne Trajane, qui a 149 pieds romains de hauteur, est formée par trente-quatre blocs de marbre blanc. Dans l'intérieur se trouve un escalier qui permet de monter jusqu'au sommet. Le bas-relief hélicoïde qui l'environne représente des sujets relatifs aux deux expéditions de l'empereur Trajan contre les Daces. Les figures ont environ 2 pieds de hauteur moyenne; mais la sculpture a eu la précaution d'augmenter un peu leur grandeur au fur et à mesure qu'elles s'élèvent.

La colonne Antonine est à peu près semblable à la précédente. Elle a 133 pieds de hauteur, et elle est formée de vingt-huit blocs de marbre blanc.

L'ordre toscan se compose, comme tous les autres ordres, de l'entablement, de la colonne et du piédestal, qui forment entre eux $22 \frac{1}{6}$ modules.

Ces trois parties se subdivisent en trois autres parties, qui sont :
1°. Pour l'entablement, la corniche, la frise et l'architrave;
2°. Pour la colonne, le chapiteau et sa base;
3°. Pour le piédestal, la corniche, le dé et sa base.

Supposons que l'on veuille donner à l'ordre toscan une hauteur totale de 6m,65; en divisant ce nombre par 22 $\frac{1}{6}$ modules, on obtiendra 0m,30 pour chaque module; ces 0m,30 divisés par 12 parties de module (énoncées par Vignole comme devant servir aux détails des membres de moulures contenues dans cet ordre, tant pour leur hauteur que pour leur saillie) produiront 0m,025 pour la représentation de 1 partie de module. Ainsi la colonne qui doit avoir 14 modules, que l'on multipliera par 0m,30, aura 4m,20 de hauteur, y compris la base et le chapiteau; le piédestal, qui doit avoir $\frac{1}{3}$ de cette hauteur ou 4 $\frac{2}{3}$ modules, aura 1m,40; l'entablement, qui doit avoir 3 $\frac{1}{2}$ modules, que l'on multipliera par 0m,30, aura 1m,05 ou le quart de la hauteur de la colonne. Le septième de 4m,20 ou 2 modules, qui est de 0m,60, fera le diamètre de la colonne pris à sa base et se continuant droit jusqu'au tiers de sa hauteur; ensuite on reportera pour le diamètre du haut, pris de l'astragale, 1 $\frac{7}{2}$ module ou 0m,47, qui feront ce diamètre et la diminution.

Maintenant, pour avoir les détails de tous les membres de moulures (il est observé que nous prendrons toujours la cote pour la saillie de ces moulures, à partir de l'axe de la colonne), on commencera par la corniche de l'entablement, et ainsi de suite jusqu'à la base du piédestal. La hauteur de la corniche étant de 1 $\frac{1}{3}$ module, elle aura 0m,40: le quart de rond, qui doit avoir quatre parties, aura 0m,10 en hauteur, et sa saillie, à partir de l'axe de la colonne, sera de 0m,68; la baguette au-dessous aura 1 partie ou 0m,025 de hauteur et 0m,59 de saillie; le filet inférieur aura 0m,012 de hauteur et 0m,565 de saillie; le larmier aura 0m,15 de hauteur et 0m,555 de saillie, toujours à partir de l'axe; la mouchette pendante recevra à son plafond un refouillement faisant coupe-larme, qui aura 0m,015 de profondeur et 0m,15 de largeur; le filet qui couronne le talon aura 0m,012 de hauteur et 0m,35 de saillie; le talon, qui est de 0m,012 en retraite sur ce filet, sera d'autant en saillie sur la frise; la frise aura 1 $\frac{1}{6}$ module ou 0m,35 de hauteur, et sa face sera d'aplomb sur le fût de la colonne, c'est-à-dire que la ligne du gorgerin sera prolongée verticalement pour former la face de l'architrave et de la frise.

L'architrave aura 1 module de 0m,30 de hauteur; son listel, au-dessous de la frise, aura 0m,05 de hauteur ou 2 parties de module,

sur une saillie semblable. L'architrave et la frise de tous les ordres auront leurs faces dans le prolongement du vif de la colonne.

Le chapiteau aura un demi-diamètre de hauteur, qui est 1 module ou $0^m,30$ ; l'abaque ou tailloir aura $0^m,075$ de hauteur ; le filet qui la couronne aura à ses dépens $0^m,025$ aussi de hauteur ; ce filet aura de chaque côté de l'axe $0^m,368$ en saillie, et par conséquent le carré sur chaque face sera de $0^m,736$ ; la plate-bande ou le carré au-dessous de ce filet aura $0^m,075$ ; le quart de rond $0^m,075$ de hauteur, et sera de $0^m,015$ en retraite en tête ; le filet au-dessous aura $0^m,025$ de hauteur et sera de $0^m,025$ en saillie sur le gorgerin ; le gorgerin aura $0^m,10$ de hauteur ; l'astragale $0^m,0375$ de hauteur, dont $0^m,025$ seront pour la baguette, et $0^m,0125$ pour le filet ou ceinture qui doit se terminer en congé sur le fût de la colonne ; l'astragale aura $0^m,277$ de saillie à partir de l'axe de la colonne.

Le fût de la colonne aura $0^m,60$ de diamètre pris au-dessus du congé et se continuera droit jusqu'au tiers de la hauteur de la colonne, pour diminuer ensuite de chaque côté de $0^m,06$, c'est-à-dire que la diminution de la colonne, à partir de son premier tiers, peut être évaluée à un cinquième.

La base de la colonne aura de hauteur 1 module ou $0^m,30$ ; la ceinture, qui se terminera en congé sur le vif de la colonne, aura $0^m,025$ de hauteur et même saillie sur le fût ; le tore aura de hauteur $0^m,125$ ou 5 parties du module et $0^m,42$ de saillie ; la plinthe aura la même saillie et $0^m,15$ de hauteur.

Le piédestal qui aura $4\frac{2}{3}$ modules ou $1^m,40$ de hauteur totale, sera divisé en trois parties : la corniche, le dé et la base. La corniche aura de hauteur $0^m,15$ ; le réglet $0^m,05$ de hauteur et $0^m,52$ de saillie, toujours à partir de l'axe ; le talon $0^m,10$ ; il sera de $0^m,015$ en retraite du réglet et saillira d'autant sur le dé ; ce dé aura $1^m,10$ de hauteur et $0^m,835$ de largeur sur chaque face.

La base doit avoir $0^m,20$ de hauteur ; le filet ou listel $0^m,025$ de hauteur et $0^m,04$ de saillie sur le dé ; il doit se terminer en congé ; le socle aura $0^m,125$ de hauteur et saillira de $0^m,515$ à partir de l'axe de la colonne.

Il nous semble inutile de donner ici la nomenclature des membres de moulure, puisqu'en faisant connaître leurs dimensions, nous les désignons par leurs noms respectifs.

## ORDRE DORIQUE.

L'ordre dorique est de deux sortes : l'un appelé *mutulaire*, et l'autre *denticulaire*. Le premier est tiré des antiquités romaines, et est orné de *mutules*, espèces de larmiers saillants qui servent de couronnement aux triglyphes (le triglyphe est un ornement de la frise dorique, qui représente l'extrémité des solives posée sur l'architrave, et qui a ordinairement des rainures profondes et verticales). L'ordre dorique, appelé denticulaire, parce que sa corniche est ornée de denticules, est tiré du théâtre Marcellus à Rome ; il diffère du mutulaire d'abord par son architrave, qui n'a qu'une seule plate-

bande, puis par sa corniche, dont la cymaise inférieure porte un talon au lieu de quart de rond, puis encore par le premier larmier des denticules et la cymaise supérieure qui portent un cavet au lieu de doucine, et enfin par le chapiteau qui a trois filets égaux couronnant le gorgerin.

L'ordre dorique est, comme l'ordre toscan, composé de l'entablement, de la colonne et du piédestal qui formeront entre eux 25 $\frac{1}{3}$ modules, d'après Vignole.

On pourrait désigner les dimensions décimales des membres des moulures, comme nous l'avons fait pour l'ordre toscan, mais nous laissons ce soin à nos lecteurs.

### ORDRE IONIQUE.

Cet ordre tire son nom du chef d'une colonie envoyée en Asie par les Athéniens, d'Ion, qui fit élever à Ephèse, en Carie, trois temples de cet ordre, l'un en l'honneur de Diane, l'autre à Apollon, et le troisième à Bacchus. On croit que son chapiteau fut composé à l'imitation des cheveux des femmes grecques dont les boucles se tournaient en volutes.

L'ordre ionique est, comme les deux précédents, composé de l'entablement, de la colonne et du piédestal, lesquels doivent former entre eux 28 $\frac{1}{2}$ modules.

### ORDRE CORINTHIEN.

L'ordre corinthien ne s'emploie ordinairement que dans les grands édifices, son caractère de richesse et d'élégance ne s'alliant pas avec les bâtiments secondaires. L'origine de cet ordre est assez singulière : Vitruve rapporte qu'une jeune fille de Corinthe étant morte à la veille de se marier, sa nourrice plaça sur son tombeau une corbeille remplie de petits vases et d'autres objets que cette jeune fille avait aimés pendant sa vie, puis elle couvrit le tout d'une tuile pour le préserver des injures de l'air. Il arriva qu'au printemps la corbeille se trouva environnée des feuilles d'une plante d'acanthe sur laquelle elle était posée par hasard, et que ces feuilles, rencontrant la tuile, se recourbèrent par leurs extrémités. Le sculpteur Callimaque, ayant remarqué cette corbeille et les feuilles qui l'environnaient, en fit un dessin qu'il imita sur les colonnes qu'on le chargea d'élever à Corinthe.

L'ordre corinthien est, comme les précédents, composé de l'entablement, de la colonne et du piédestal, qui doivent former entre eux 32 modules.

### ORDRE COMPOSITE.

Cet ordre ainsi appelé, parce qu'en effet il est formé des deux précédents, fut composé par les Romains lorsqu'ils érigèrent un arc de triomphe en l'honneur de l'empereur Titus, après la prise de

Jérusalem; mais nous ferons remarquer que Vitruve a refusé au composite le nom d'ordre, à cause de sa similitude avec le corinthien, prétendant avec raison que ce ne sont point les ornements qui constituent l'ordre, mais bien la différence des rapports de leur grosseur avec leur hauteur.

Quoi qu'il en soit, le composite est, comme les quatre ordres précédents, composé de l'entablement, de la colonne et du piédestal, qui doivent former entre eux 32 modules, dont 5 modules seront pour l'entablement, 20 pour la colonne, y compris la base et le chapiteau, et 7 pour le piédestal.

## DES PLAFONDS ET DES CORNICHES.

Les corniches sont ordinairement ornées de différentes moulures et sculptures; quant aux plafonds de ces corniches, ils sont toujours le plus saillants possible.

L'ordre toscan, comme étant le plus simple des cinq ordres, n'aura qu'une moulure simple sous le soffite du larmier; cette moulure est appelée *mouchette pendante*.

Le dorique doit avoir, au-dessous de ses mutules, des gouttes qui seront pendantes en forme de petits cônes; leurs compartiments étant faits avec goût, la vue sera satisfaite.

L'ordre ionique, qui n'aura qu'un simple renfoncement au plafond de son larmier, peut être orné de canaux et de feuilles d'acanthe, qui correspondront, par leurs divisions, à quatre ou cinq denticules.

Le plafond du larmier de l'ordre corinthien sera plus saillant à cause de ses modillons, et doit être décoré plus richement, sans confusion cependant, mais avec une justesse digne de sa beauté; sa corniche a été proportionnée dans le rapport de la hauteur avec celui de la saillie, afin de rendre le plus carré possible la forme des caissons entre les modillons.

La corniche de l'ordre composite ne diffère de la précédente que par quelques ornements et les doubles modillons.

## DES CINQ ORDRES D'ARCHITECTURE RÉUNIS.

De tous les éléments qui entrent dans la composition d'un édifice, les ordres sont sans contredit ceux qui satisfont plus agréablement la vue : leur beauté, leur richesse, leur élégance, ont tellement séduit la plupart des architectes, qu'ils ont cru que le principal mérite d'un édifice consistait à être décoré d'un ou de plusieurs ordres d'architecture modelés exactement sur ceux qu'on admire dans les ruines de la Grèce ou de Rome, sans examiner si, là où on les a placés, ils sont utiles, ou bien s'ils n'augmentent pas la dépense en pure perte, s'ils rendent l'édifice plus commode ou approprié à son but, ou bien s'ils ne sont qu'une superfétation inutile, peut-être embarrassante ou même nuisible.

Cet emploi désordonné et irréfléchi des ordres d'architecture a souvent placé les architectes dans la pénible nécessité ou de les mu-

tiler d'une manière barbare, ou de manquer à quelques-unes des principales convenances d'un édifice.

Les ordres d'architecture résultent, soit de colonnes isolées qui forment des portiques, auxquels on a conservé le nom antique de péristyles, soit de colonnes adossées ou insérées dans un mur; ou bien encore de pilastres décorés à la manière des colonnes, et pareillement insérés dans un mur : les derniers modes forment ce qu'on appelle *l'architecture en relief.*

Les péristyles produisent un effet bien plus imposant, bien plus magnifique que ne peut le faire l'architecture en relief la plus riche; cet effet grandiose est dû spécialement à la vigueur des ombres qui se forment derrière les colonnes, et qui les détachent, les distinguent nettement et fortement du fond sur lequel elles prédominent, et qui conséquemment leur doit être sacrifié. Voilà pourquoi les anciens donnaient beaucoup de profondeur aux péristyles des façades de leurs temples, surtout de ceux qui devaient être vus d'une certaine distance; voilà aussi pourquoi certaines façades modernes, ornées de péristyles très-peu profonds, ne produisent point l'effet qu'on pourrait en attendre.

Un péristyle porte avec lui un caractère de grandeur et de magnificence : ainsi 1° On ne peut l'adapter avec convenance qu'aux édifices qui doivent avoir les mêmes caractères; 2° il est ridicule de lui donner de trop petites dimensions : on trouve rarement des péristyles antiques qui aient moins de 1 mètre de diamètre; 3° les matériaux devraient être, par leur beauté et leur bonté, en harmonie avec la richesse et la somptuosité inhérente au péristyle.

Les colonnes et les architraves de la plupart des péristyles antiques sont en granit, ou en marbre d'un seul bloc, ou bien composées d'un petit nombre de blocs. En effet, ne serait-il pas inconvenant d'employer des matériaux de petites dimensions, dénués de force et de beauté, pour former le plus riche élément dont l'architecture puisse disposer? On est obligé de remarquer ce contre-sens blâmable dans tous les édifices de Paris qui sont composés de péristyles.

Les colonnes et les pilastres encaissés qui forment l'architecture en relief n'ont ni la beauté, ni la magnificence des colonnes isolées; mais on peut, en bien des cas, employer ce genre d'architecture avec autant d'utilité que de convenance. Il ne faut cependant jamais perdre de vue que l'architecture en relief, de même que les péristyles, fait partie intégrante des édifices. Les parties en relief représentent les chaînes horizontales et verticales qui constituent la carcasse de l'édifice, et qui, conséquemment, doivent être composés de matériaux solides et soigneusement appareillés : le surplus du mur, n'étant qu'un remplissage, pourrait être supprimé sans que la solidité de l'édifice en souffrît notablement. Ainsi l'architecte doit regarder l'architecture en relief comme un objet de simple décoration, mais d'utilité, et régler ses plans d'après ce principe fondamental. Ce genre de construction n'exclut point l'emploi des pierres de taille de médiocre dimension et de force moyenne.

Quel que soit l'emploi des ordres d'architecture, il faut leur conserver la forme et les proportions principales que l'on remarque

dans les beaux monuments grecs et romains, et qui ont été consacrées par l'assentiment unanime des artistes, depuis la renaissance des arts jusqu'à nos jours : les architectes qui ne les ont pas assez respectées n'ont produit que des ouvrages défectueux, dont la réputation a disparu avec la mode capricieuse qui les a fait naître.

Les proportions dont nous parlons n'ont été fixées qu'après de longs tâtonnements : les premiers constructeurs, craignant que leurs édifices n'eussent point assez de force, donnèrent aux colonnes une hauteur médiocre en comparaison du diamètre ; on essaya ensuite de leur donner progressivement plus de légèreté. C'est ce que nous voyons en effet, en passant en revue les monuments antiques. La grandeur du diamètre des colonnes, jointe à une petite élévation, est, parmi les indices d'une haute antiquité, un des moins équivoques.

Les colonnes des monuments égyptiens ont une hauteur qui varie depuis 3 diamètres jusqu'à $4\frac{1}{2}$, et ce diamètre varie également depuis 1 mètre jusqu'à $3^{m},50$. Quelques-unes de ces colonnes sont rondes et lisses ; d'autres à pans en forme de faisceaux. Rarement ces colonnes sont de granit, presque toutes celles qui restent sont en blocs de grès disposés par assises.

Les plus anciennes colonnes grecques n'ont que 4 à 5 diamètres de hauteur, et presque tous les entablements doriques des temples grecs ont plus que le quart de la hauteur de l'ordre. Ces colonnes n'ont point de base et sont la plupart cannelées.

Les Romains augmentèrent les proportions de l'ordre dorique. Vitruve assigne à la colonne 7 diamètres de hauteur, et l'ordre dorique du théâtre de Marcellus, qui a servi de modèle à Vignole, a 8 diamètres ; ils altérèrent ainsi les formes et les proportions des autres parties.

L'ordre ionique eut à son origine des colonnes de 8 diamètres de hauteur ; on les rendit ensuite plus élancées et on leur donna $8\frac{1}{2}$ diamètres et ensuite 9.

Les colonnes de l'ordre corinthien, qui est le plus délicat de tous les ordres, n'avait d'abord que $8\frac{1}{4}$ diamètres ; on leur donna ensuite 10 diamètres, et même $10\frac{1}{2}$ diamètres. L'entablement est ordinairement la cinquième partie de la hauteur totale de l'ordre.

En réduisant les cinq ordres à une même hauteur, afin qu'on puisse reconnaître par leurs diverses grosseurs, sur une élévation commune, leurs différents caractères, on voit que le toscan, connu sous le nom d'*ordre rustique*, ne doit avoir de diamètre que la septième partie de sa hauteur, y compris la base et le chapiteau ; l'ordre dorique, connu sous le nom d'*ordre solide*, ne doit avoir que la huitième partie de sa hauteur, et l'ionique, considéré comme *ordre moyen*, la neuvième partie. Le corinthien et le composite, appelés *ordres délicats*, ne doivent avoir que la dixième partie.

**PROPORTIONS A DONNER AUX ENTRE-COLONNEMENTS ET PORTIQUES DES CINQ ORDRES.**

Il est essentiel, daus l'espacement des colonnes, qu'elles ne soient ni trop éloignées, ni trop rapprochées : le premier défaut nuit à la solidité ; le second augmente la dépense et gêne la circulation entre les colonnes.

Bien que la connaissance des proportions à donner aux différents ordres, ainsi que celle des formes affectées aux chapiteaux, aux bases, aux piédestaux, aux moulures et aux ornements des entablements, ne s'acquièrent convenablement que par la pratique du dessin, nous croyons utile de donner ici quelques détails sur les proportions des entre-colonnements et des portiques. Pour ces proportions nous prendrons une échelle de 15 millimètres par mètre; c'est-à-dire que 1 mètre remplacera huit modules, et que le module vaudra par conséquent 5 millimètres, lesquels représenteront $0^m,333$ d'exécution.

L'entre-colonnement de l'ordre toscan (*fig.* 1, *Pl. XIII*) aura $2^m,331$ de largeur, prise d'axe en axe des colonnes. Le portique sans piédestal (*fig.* 2, *Pl. XIII*) aura $2^m,331$ entre les pieds-droits, et $3^m,33$ d'axe en axe des colonnes; du dessous de la clef à la ligne de niveau du bas du socle de la base de la colonne, il y aura le double de la largeur de l'arcade pour hauteur, c'est-à-dire $4^m,662$. La moitié de la largeur des pieds-droits de $1^m,165$ sera le rayon du demi-cercle de l'arcade ou le point de centre du cintre. On tirera une ligne horizontale à ce point, qui sera le dessus de l'imposte, ou un simple bandeau de $0^m,333$ de hauteur et de $0^m,084$ de saillie; sur le pied-droit du dessous du soffite au-dessous de la clef, il y aura $0^m,333$. Nous ferons remarquer ici que cet arc doit être sans archivolte.

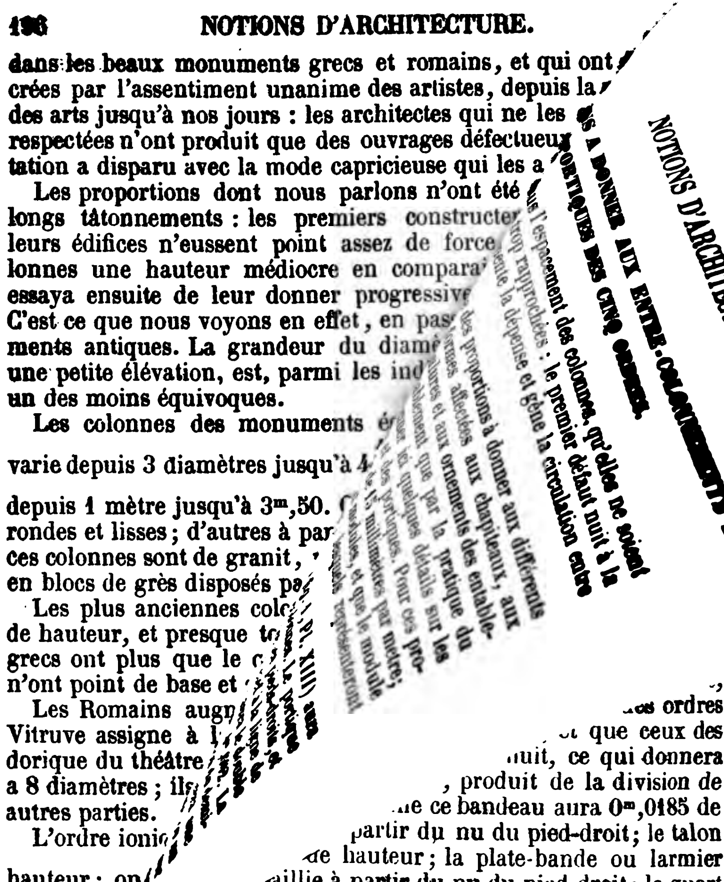
Le portique toscan avec piédestal (*fig.* 3, *Pl. XIII*) aura 3 mètres de largeur entre les deux pieds-droits, et d'axe en axe des colonnes, il y aura $4^m,44$. Le rayon de l'arcade sera de $1^m,50$. La hauteur de l'arcade prise au-dessous de la clef aura le double de sa largeur ou 6 mètres; du dessous du soffite au-dessous de la clef, il y aura $0^m,333$. La hauteur de l'imposte, qui est de $0^m,333$, sera reportée au-dessus et suivra le cintre, ce qui formera l'archivolte ; le petit listel de l'imposte aura $0^m,066$; la plate-bande ou le grand carré au-dessous aura $0^m,20$ ou $0^m,200$; le petit filet au-dessous aura $0^m,066$, et la saillie du listel sera de $0^m,166$.

L'entre-colonnement de l'ordre dorique (*fig.* 4, *Pl. XIII*) aura $2^m,664$ de largeur, prise d'axe en axe des colonnes.

Le portique sans piédestal (*fig.* 5, *Pl. XIII*) aura $2^m,50$ de largeur entre les deux pieds-droits, et d'axe en axe des colonnes, il y aura $3^m,496$ ; le rayon de l'arcade sera de $1^m,25$; la hauteur totale de l'arcade prise au-dessous de la clef aura le double de sa largeur ou 5 mètres. Le rayon étant de $1^m,25$, la hauteur du carré du cintre sera de $3^m,75$; cette ligne du carré sera le dessus du bandeau de l'imposte, et servira aussi à placer le point de centre du demi-cercle

dans les beaux monuments grecs et romains, et qui ont
crées par l'assentiment unanime des artistes, depuis la
des arts jusqu'à nos jours : les architectes qui ne les
respectées n'ont produit que des ouvrages défectueu
tation a disparu avec la mode capricieuse qui les a

Les proportions dont nous parlons n'ont été
longs tâtonnements : les premiers constructe
leurs édifices n'eussent point assez de force
lonnes une hauteur médiocre en compara
essaya ensuite de leur donner progressive
C'est ce que nous voyons en effet, en pas
ments antiques. La grandeur du diam
une petite élévation, est, parmi les ind
un des moins équivoques.




Les colonnes des monuments é

varie depuis 3 diamètres jusqu'à 4

depuis 1 mètre jusqu'à $3^{m},50$. C
rondes et lisses; d'autres à par
ces colonnes sont de granit,
en blocs de grès disposés pa

Les plus anciennes colo
de hauteur, et presque to
grecs ont plus que le c
n'ont point de base et

Les Romains augm ... des ordres
Vitruve assigne à l ... que ceux des
dorique du théâtre ... nuit, ce qui donnera
a 8 diamètres ; il ... , produit de la division de
autres parties. ... ne ce bandeau aura $0^{m},0185$ de

L'ordre ionio ... partir du nu du pied-droit; le talon
... de hauteur; la plate-bande ou larmier
hauteur ; on ... saillie à partir du nu du pied-droit; le quart
diamètres ... nier aura $0^{m},037$ de hauteur; la baguette au-

Les col ... de hauteur; le filet au-dessous, $0^{m},00925$ de hau-
... 15 de saillie; la seconde face aura $0^{m},0925$ de hau-
les ord ... ura de $0^{m},010$ sur la première face; la première face aura
... e hauteur et saillira de $0^{m},010$ sur le pied-droit.
suite ... chivolte aura $0^{m},333$ de largeur, la première face aura $0^{m},111$
largeur et la seconde $0^{m},13875$ aussi de largeur; le listel aura
di ... 02775; le quart de rond accompagné de son filet auront ensemble $0^{m},0555$ également de largeur. Quant aux saillies, elles seront les mêmes que précédemment.

Le portique ionique avec piédestal (*fig.* 9, *Pl. XIII*) aura $3^{m},663$ de largeur entre les deux pieds-droits, et la largeur d'axe en axe des deux colonnes sera de $5^{m},328$. Les proportions et dimensions de l'imposte et de l'archivolte seront les mêmes que celles des ordres précédents.

L'entre-colonnement de l'ordre corinthien (*fig.* 10, *Pl. XIII*) aura $2^{m},331$ de largeur prise d'axe en axe des colonnes.

Le portique sans piédestal (*fig.* 11, *Pl. XIII*), lequel pourrait

…ux des autres ordres, élevé sur des degrés ou mar… compliqués, aura 3m,1685 de largeur entre les … les colonnes auront d'axe en axe 4m,1995; la …cade prise au-dessous de la clef aura le double …37. Le rayon du cintre étant de 1m,584, la …cintre sera de 4m,75275; cette ligne du …bandeau de l'imposte, et servira aussi à … de cette ligne sera le point de centre …andeau formant l'imposte aura 0m,333 …uronne aura 0m,0185 de hauteur …dessous aura 0m,037 de hauteur; …0m,074 de saillie; le quart de …teur; la baguette au-dessous … de hauteur et se terminera …111 de hauteur; elle sera …l'arête sera ornée d'une … aura 0m,0185; le filet … congé sur le pied-

…2, *Pl. XIII*) aura …oits, et il aura d'axe en …ur.

…ue de l'ordre composite seront en …ure corinthien. Les colonnes doivent … attenantes à un mur, être engagées d'un …s les pieds-droits ou murs de face, ce qui ne … trois quarts de saillie : le terrain et la hauteur …a donner à ces colonnes détermineront la conduite à …ur les règles de proportions convenables. Bien que nous …ns enseigné précédemment la manière d'opérer la diminution des colonnes, nous allons en donner une autre ci-dessous.

Après avoir tracé la colonne de la grosseur et par conséquent de la hauteur qu'on voudra lui accorder, on marquera par une ligne horizontale le tiers de la hauteur par le bas; sur ce tiers de hauteur on décrira un demi-cercle qui aura pour rayon le demi-diamètre de la colonne, et l'on divisera la base de celle-ci en huit parties égales : sept de ces parties seront portées en haut au-dessous de l'astragale, ce qui fera $3\frac{1}{2}$ parties de chaque côté de l'axe; puis on descendra une ligne perpendiculaire, des points de diminution, que l'on abaissera jusque sur la base, et du point où cette ligne rencontrera la circonférence du demi-cercle, on divisera la portion de cercle jusque sur la ligne marquant le tiers de la colonne en six parties égales; on divisera ensuite les deux tiers du haut également en six parties égales, et en élevant des perpendiculaires sur les petits points de divisions sur le demi-cercle : la rencontre de chacun des points de division sur la colonne donnera le galbe cherché. On pourra se servir de cette méthode pour le galbe de toute espèce de colonne.

de l'arcade. Le bandeau formant l'imposte aura $0^m$,333 de hauteur; le réglet qui le couronne aura $0^m$,028. Le quart de rond au-dessous aura $0^m$,069 de hauteur et sera de $0^m$,014 en retraite sur le réglet, qui aura $0^m$,111 de saillie. La baguette au-dessous du quart de rond aura $0^m$,028 de hauteur; le filet au-dessous $0^m$,014; la grande face $0^m$,111, la petite face $0^m$,083 aussi de hauteur, et la saillie totale sera de $0^m$,111.

Le portique dorique avec piédestal (*fig.* 6, *Pl. XIII*) aura $3^m$,33 de largeur entre les deux pieds-droits; la hauteur de l'arcade sous clef sera de $6^m$,66; la distance du dessous du soffite au-dessous de la clef sera de $0^m$,50 de hauteur. Ce même portique aura d'axe en axe des colonnes $5^m$,328; quant aux proportions et dimensions de l'imposte et archivolte, elles sont les mêmes que celles de l'ordre toscan.

L'entre-colonnement de l'ordre ionique (*fig.* 7, *Pl. XIII*) aura $2^m$,50 de largeur prise d'axe en axe des colonnes.

Le portique sans piédestal (*fig.* 8, *Pl. XIII*) aura 3 mètres de largeur entre les deux pieds-droits, et d'axe en axe des colonnes, il y aura 4 mètres; la hauteur totale de l'arcade prise au-dessous de la clef aura le double de sa largeur ou 6 mètres. Le rayon étant de 2 mètres, la hauteur du carré du cintre sera de 4 mètres; cette ligne du carré sera le dessus du bandeau de l'imposte et servira aussi à placer le point de centre du cintre et de l'archivolte. Le bandeau formant ladite imposte, sur laquelle s'appuie l'archivolte, aura de hauteur $0^m$,333 (il est convenu que les modules des ordres toscan et dorique seront divisés en douze parties, et que ceux des ordres ionique et corinthien le seront en dix-huit, ce qui donnera pour chaque partie du module $0^m$,0185, produit de la division de $0^m$,333 par 18). Le réglet qui couronne ce bandeau aura $0^m$,0185 de hauteur et $0^m$,111 de saillie à partir du nu du pied-droit; le talon au-dessous aura $0^m$,02575 de hauteur; la plate-bande ou larmier $0^m$,0555 et $0^m$,8325 de saillie à partir du nu du pied-droit; le quart de rond sous le larmier aura $0^m$,037 de hauteur; la baguette au-dessous $0^m$,0185 de hauteur; le filet au-dessous, $0^m$,00925 de hauteur et $0^m$,02775 de saillie; la seconde face aura $0^m$,0925 de hauteur et saillira de $0^m$,010 sur la première face; la première face aura $0^m$,074 de hauteur et saillira de $0^m$,010 sur le pied-droit.

L'archivolte aura $0^m$,333 de largeur, la première face aura $0^m$,111 de largeur et la seconde $0^m$,13875 aussi de largeur; le listel aura $0^m$,02775; le quart de rond accompagné de son filet auront ensemble $0^m$,0555 également de largeur. Quant aux saillies, elles seront les mêmes que précédemment.

Le portique ionique avec piédestal (*fig.* 9, *Pl. XIII*) aura $3^m$,663 de largeur entre les deux pieds-droits, et la largeur d'axe en axe des deux colonnes sera de $5^m$,328. Les proportions et dimensions de l'imposte et de l'archivolte seront les mêmes que celles des ordres précédents.

L'entre-colonnement de l'ordre corinthien (*fig.* 10, *Pl. XIII*) aura $2^m$,334 de largeur prise d'axe en axe des colonnes.

Le portique sans piédestal (*fig.* 11, *Pl. XIII*), lequel pourrait

être, comme ceux des autres ordres, élevé sur des degrés ou marches plus ou moins compliqués, aura $3^m$,1685 de largeur entre les deux pieds-droits, et les colonnes auront d'axe en axe $4^m$,1995; la hauteur totale de l'arcade prise au-dessous de la clef aura le double de sa largeur ou $6^m$,337. Le rayon du cintre étant de $1^m$,584, la hauteur du carré de ce cintre sera de $4^m$,75275; cette ligne du cintre sera le dessus du bandeau de l'imposte, et servira aussi à placer l'archivolte; le milieu de cette ligne sera le point de centre du demi-cercle de l'arcade. Le bandeau formant l'imposte aura $0^m$,333 de hauteur; le réglet qui le couronne aura $0^m$,0185 de hauteur et $0^m$,111 de saillie; le talon au-dessous aura $0^m$,037 de hauteur; le larmier $0^m$,074 de hauteur et $0^m$,074 de saillie; le quart de rond au-dessous aura $0^m$,037 de hauteur; la baguette au-dessous $0^m$,0185; le filet au-dessous $0^m$,00925 de hauteur et se terminera en congé sur la frise; cette frise aura $0^m$,111 de hauteur; elle sera ornée de canaux ou petites cannelures; l'arête sera ornée d'une feuille. La baguette ou astragale au-dessous aura $0^m$,0185; le filet au-dessous aura $0^m$,00925 et se terminera en congé sur le pied-droit.

Le portique corinthien avec piédestal (*fig.* 12, *Pl. XIII*) aura $4^m$,1995 de largeur entre les deux pieds-droits, et il aura d'axe en axe des colonnes $5^m$,661 aussi de largeur.

L'entre-colonnement et le portique de l'ordre composite seront en tout semblables à ceux de l'ordre corinthien. Les colonnes doivent toujours, lorsqu'elles sont attenantes à un mur, être engagées d'un quart du diamètre dans les pieds-droits ou murs de face, ce qui ne leur laissera que trois quarts de saillie : le terrain et la hauteur qu'on voudra donner à ces colonnes détermineront la conduite à tenir pour les règles de proportions convenables. Bien que nous ayons enseigné précédemment la manière d'opérer la diminution des colonnes, nous allons en donner une autre ci-dessous.

Après avoir tracé la colonne de la grosseur et par conséquent de la hauteur qu'on voudra lui accorder, on marquera par une ligne horizontale le tiers de la hauteur par le bas; sur ce tiers de hauteur on décrira un demi-cercle qui aura pour rayon le demi-diamètre de la colonne, et l'on divisera la base de celle-ci en huit parties égales : sept de ces parties seront portées en haut au-dessous de l'astragale, ce qui fera $3\frac{1}{2}$ parties de chaque côté de l'axe; puis on descendra une ligne perpendiculaire, des points de diminution, que l'on abaissera jusque sur la base, et du point où cette ligne rencontrera la circonférence du demi-cercle, on divisera la portion de cercle jusque sur la ligne marquant le tiers de la colonne en six parties égales; on divisera ensuite les deux tiers du haut également en six parties égales, et en élevant des perpendiculaires sur les petits points de divisions sur le demi-cercle : la rencontre de chacun des points de division sur la colonne donnera le galbe cherché. On pourra se servir de cette méthode pour le galbe de toute espèce de colonne.

## DES PROPORTIONS QUE DOIVENT AVOIR LES CROISÉES, LES PORTES, LES FRONTONS, LES BALUSTRADES ET LES BALUSTRES.

**Proportions des croisées.** — Dans un édifice, en général, la grandeur des croisées doit, autant que possible, être proportionnée à celle des pièces principales. Palladio enseigne la règle suivante : on choisira une des pièces de moyenne grandeur, et l'on donnera aux croisées une largeur qui ne sera pas plus grande que le quart de la largeur de cette pièce ni moindre que le cinquième. Ce grand architecte prescrit, en outre, quelques variations dans le rapport de la largeur et de la hauteur des croisées suivant le caractère de l'édifice; ainsi, dans les façades ornées et délicates, les croisées auront en hauteur un cinquième ou sixième de plus que la double largeur, et, au contraire, elles auront cette quantité de moins dans les édifices plus graves et plus simples.

**Proportions des portes.** — La proportion des portes, c'est-à-dire le rapport de leur hauteur avec leur largeur, doit dépendre de l'ordonnance de l'édifice dont elles font partie. Les architectes anciens et le plus grand nombre de ceux du dernier siècle, d'après les sentiments de Vitruve et de Vignole, ont donné à toutes les hauteurs de l'ouverture des portes le double de leur largeur. Les architectes modernes ont pensé que cette hauteur, commune à toutes les ouvertures, ne pouvait s'allier avec les cinq ordres qui ont chacun des proportions différentes, et ils ont en conséquence conservé la hauteur du double de l'ouverture pour les portes de l'ordre toscan ; à ce double ils ont ajouté un sixième pour les portes de l'ordre dorique, un quart pour celles de l'ordre ionique, et une demi-largeur pour celles des ordres corinthien et composite.

**Proportions des frontons.** — La construction des frontons demande un soin particulier, pour que les pierres inclinées qui forment les angles ne puissent se mouvoir et ne soient poussées par les autres pierres que leur position tend à faire glisser vers le bas.

Les anciens, pour donner à cette partie faible toute la stabilité qu'elle requiert, y employaient des blocs de grande dimension, dans lesquels ils sculptaient les deux extrémités réunies de la corniche horizontale et oblique. Les pièces qui venaient ensuite étaient fortement reliées avec celle-ci à l'aide de goujons et de crampons en bronze ou en fer.

Un fronton sera bien placé partout où raisonnablement il pourra indiquer l'extrémité d'un toit ; en toute autre situation, il sera déplacé et inconvenant.

Les frontons indiquant les extrémités d'un comble régulier à deux pentes doivent avoir les mêmes proportions : les frontons des temples grecs avaient une hauteur égale à un neuvième de la base ; ceux des monuments de Rome antique avaient un cinquième ou deux neuvièmes de cette même base.

En général, les frontons sont circulaires ou triangulaires ; les frontons circulaires, qui indiquent une voûte surbaissée, sont admis-

sibles dans un endroit où une semblable voûte pourrait avoir quelque utilité ; mais cette forme, moins simple que la triangulaire, est aussi moins agréable à la vue ; puis les frontons circulaires ont plus de pesanteur réelle et présentent un aspect plus matériel à l'œil que les frontons triangulaires : aussi ne doit-on employer ces sortes de frontons cintrés qu'aux ordonnances rustique et toscane, quoiqu'il existe une foule d'exemples du contraire.

On couvre ordinairement les parties inclinées des frontons avec des lames de plomb ou de zinc, pour empêcher que l'eau ne puisse s'insinuer dans les joints des pierres qui en forment la cymaise.

**Proportions des balustrades et balustres.** — Les balustrades sont des murs d'appui composés de petites colonnes nommées balustres, et dont le fût a la forme d'une poire ; les colonnes sont élevées sur un socle et surmontées d'une tablette. On les emploie particulièrement à former des appuis de croisées, de terrasses, etc. Les balustrades doivent non-seulement emprunter leur expression aux ordres, mais être de cinq espèces, afin de satisfaire au caractère particulier de chacun de ces ordres considéré séparément.

La hauteur des balustrades servant d'appui est ordinairement réglé entre $0^m,8$ et $1^m,10$ pour les soubassements. Quant aux balustrades servant de couronnement aux ordres d'architecture, elles doivent avoir en apparence le quart de la hauteur de la colonne, et avoir en réalité un demi-module de plus.

Pour donner la forme et la proportion convenables aux balustres, il faudra diviser la hauteur des balustres (non compris la hauteur du socle et de l'appui) en dix parties égales, puis on donnera deux de ces parties de diamètre ou de largeur pour le col, et trois parties trois quarts pour le renflement. On avait autrefois la vicieuse habitude de faire des renflements très-prononcés ; nous croyons que les proportions que nous assignons ici à nos balustres leur donneront meilleure grâce à la vue. Les balustres ne devront être espacés entre eux, au droit du plus fort renflement, que du demi-diamètre de leur col ; la hauteur de l'appui ne devra avoir que deux parties à deux parties un quart. Le socle sur lequel reposent les balustres aura de deux parties et demie à trois parties de hauteur.

On déterminera le genre des moulures et des ornements de balustres selon l'ordre d'architecture auquel on les associera, sans autre règle toutefois que celle du goût.

## MAÇONNERIE.

On comprend sous le nom général de maçonnerie tous les travaux qui se font pour la construction des bâtiments, et qui ont pour but l'emploi de la plus grande partie des pierres naturelles ou artificielles, mises en œuvre avec des mortiers ou du plâtre. On considère les travaux de maçonnerie sous deux grandes divisions distinctes : l'une comprend les travaux de grosse maçonnerie ou *gros ouvrages ;* l'autre comprend la maçonnerie légère ou *légers ouvrages*.

On appelle *gros ouvrages* les murs de face, de refend, mitoyens,

murs de puits et d'aisances, contre-murs, murs sous les cloisons, murs d'échiffres ; les voûtes de caves et autres, faites en pierre de taille ou en moellon, dont les reins sont comptés comme massifs ; les grandes et petites marches ; les voûtes pour les descentes de caves ; les massifs sous les marches de perrons ; les bouchements et percements des baies de portes et croisées à mur plein ; les corniches et moulures en pierre de taille, dans les murs de face ou autres, quand on n'a point établi pour elles de distinction ou de marché à part ; les éviers, les lavoirs et les lucarnes, quand on les fait en pierre de taille ou en moellon avec plâtre ; les escaliers en pierre de taille, les carrelages en carreaux de terre cuite, les terres massives. Les *gros ouvrages* peuvent être de différents prix, même dans chaque espèce, tels que les murs selon leur qualité et leur épaisseur, les voûtes, et ainsi du reste ; mais il faut que ces prix soient spécifiés dans les marchés, car ils sont les mêmes pour chaque espèce de construction, puisqu'on doit les mesurer en cubes.

Les *légers ouvrages* comprennent les cheminées en plâtre ; les plafonds ou planchers en plâtre ou mortier ; les cloisons, les lambris, les escaliers de charpente, ou plutôt les plafonds de dessous d'escalier ; les lucarnes et leurs jouées, quand elles sont faites en charpente revêtue en plâtre ; les enduits, crépis, les renformis ou ravalements faits contre les murs neufs ou vieux ; les scellements des bois dans les murs ou cloisons ; les moulures des corniches et autres ornements d'architecture, quand ils sont de plâtre (dans les localités où il n'y a pas de plâtre, ces ouvrages sont en pierre de taille ou en brique et sont considérés comme *gros ouvrages* ; les enduits, crépis, plafonds et cloisons se font aussi en mortier de chaux et de sable, ainsi que les fours et les fours potagers ou fourneaux ; ces derniers se font également en terre à four) ; les mangeoires, les scellements de portes, de croisées, des lambris, des chevilles et corbeaux de bois ou de fer, des grilles de fer. On ne fait ordinairement qu'un seul prix pour les légers ouvrages. Les cheminées en briques ou en pierre de taille, ou en moellon, sont susceptibles d'un prix à part, ce qui dépend des localités, comme aussi de l'abondance plus ou moins grande de la brique ou de la pierre.

Dans l'usage ordinaire de métrer les ouvrages de maçonnerie, chaque partie se mesure telle qu'elle est : on compte par mètres et centimètres superficiels, et les cubes se comptent en mètres et millimètres. Comme on fait le métrage des bâtiments dans un ordre contraire à celui de leur construction, on commence par les parties les plus élevées, telles que les souches des cheminées, les pignons, les lucarnes ; on mesure chaque étage dans lequel on comprend tout ce qu'il y a de cheminées, de cloisons, murs de face, murs de refend, etc., jusqu'au-dessous du plancher du même étage, et l'on finit par le plus bas de l'édifice.

## MURS.

**Division des murs.** — On distingue plusieurs espèces de murs : les murs de fondation, les murs de face, de clôture, de sou-

tènement ou de terrasse, et les murs de refend qui divisent la longueur et quelquefois la largeur d'un bâtiment; les murs pignons réunissent les extrémités de deux murs de face; leur partie supérieure, qui a la forme du comble, sert de support au faîtage et aux pannes; les murs dosserets, que l'on construit en exhaussement des pignons pour y adosser les tuyaux de cheminées; les murs de soubassement ou alléges sont des murs de peu d'épaisseur qui supportent ordinairement les appuis des croisées; enfin les murs d'appui qui servent d'appui ou de garde-corps dans un pont, un mur de quai ou une terrasse; ils s'élèvent à environ 1 mètre de hauteur au-dessus du sol, et on les nomme aussi murs de parapet.

**Murs de face.** — Ces murs se construisent en pierre de taille, en moellon, en meulière, en brique, etc. Souvent plusieurs de ces matériaux entrent ensemble dans leur construction : ainsi les jambes étrières, les angles et les jambages, linteaux et appuis de portes et croisées se font ordinairement en pierre de taille, tandis que les intervalles sont remplis en moellons ou en meulières; les parties qui forment les dossiers des cheminées se font en briques.

Les murs de face se construisent parfaitement d'aplomb du côté du parement intérieur, tandis qu'ils doivent toujours avoir au moins 2 millimètres de fruit par mètre de hauteur du côté du parement extérieur : ainsi, si l'épaisseur au-dessus des fondations est de $0^m,60$, ils ne doivent plus avoir que $0^m,59$ à une hauteur de 5 mètres; $0^m,48$ à 10 mètres, et ainsi de suite.

**Murs de refend.** — Ces murs se contruisent d'aplomb sur les deux faces, et s'ils diminuent graduellement en épaisseur depuis les fondations jusqu'au sommet, on donne le même fruit aux deux parements, et on le prend à peu près égal à celui du parement extérieur du mur de face : ainsi, au mur de refend qui aurait, comme celui de face, $0^m,60$ d'épaisseur à sa base sur la fondation, l'épaisseur du mur de face diminuant de 2 millimètres par mètre de hauteur, celle du mur de refend diminuerait de 4 millimètres : ainsi, à 5 mètres au-dessus de la fondation, le mur de refend n'aurait plus que $0^m,58$ d'épaisseur, et non $0^m,59$. On diminue ordinairement l'épaisseur des murs de refend, non en donnant du fruit à leurs parements, mais en faisant des retraites à chaque hauteur du plancher.

En général, les murs de refend doivent être construits avec les mêmes soins que les murs de face; on doit toujours les asseoir sur des fondations reposant sur le sol résistant et parfaitement arasés de niveau; en effet, ces murs ayant à supporter des souches de cheminées, des planchers, quelquefois des voûtes ou voussoirs, des portes d'escalier, etc., il est très-important qu'ils soient établis dans les mêmes conditions de stabilité et de tassement que les murs de face.

**Murs de clôture, leurs chaperons, leur hauteur.** — Les murs de clôture n'ayant ordinairement aucune charge à supporter, la profondeur des fondations ne dépasse pas $0^m,50$ à $0^m,80$, avec une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,15$ de plus que celle des murs, afin qu'il y ait un empattement de chaque côté.

Lorsqu'un mur de clôture est construit sur un terrain incliné dans le sens de sa longueur, on fait la fondation par gradins, dont la hauteur varie selon l'inclinaison du sol, afin qu'elle ne tende pas à glisser sur sa base vers la partie inférieure.

Les murs de clôture se recouvrent de chaperons qui sont à un seul ou à deux égouts, selon que les murs sont mitoyens ou non (*fig.* 13, *Pl. XIII*). Ces chaperons se font en plâtre, en mortier de chaux, en tuiles ou encore en faîtières à recouvrement; ils sont destinés à empêcher l'eau pluviale de s'infiltrer dans la maçonnerie; et comme on leur fait faire une saillie de $0^m,05$ à $0^m,10$ sur les rues des murs, ils évitent encore que les parements de ces derniers ne soient lavés. Ces chaperons demandent à être réparés presque tous les ans : aussi y a-t-il avantage à les faire en pierres factices de ciment de Vassy; ils ont alors une durée plus grande, préservent mieux les murs des intempéries de l'atmosphère, et leur prix n'est guère plus élevé que quand ils sont en mortier de chaux ou en tuiles.

Pour des murs de peu d'importance, pour clôtures de vergers, de marais, etc., on fait aussi des chaperons en terre, en paille, etc.

**Baies des portes et croisées.** — Ces baies se font de différentes manières; pour les plus simples, celles que l'on fait habituellement dans les murs en moellon ou en meulière, on arase parfaitement de niveau les jambages à la hauteur voulue, et dessus on repose les extrémités des linteaux en charpente qui doivent former le couronnement de la baie. Toutefois il faut tenir compte, pour la hauteur à laquelle on place ces linteaux, des 3 centimètres d'épaisseur du lattis et de l'enduit de recouvrement. Quand il doit y avoir des persiennes ou des volets à l'intérieur, la pièce de linteau de ce côté doit être refouillée comme préparation de la feuillure.

Pour des murs de $0^m,40$ à $0^m,60$ d'épaisseur, les linteaux sont ordinairement formés de trois pièces de charpente, dont la longueur dépasse de $0^m,50$ la largeur de la baie. Les deux principales pièces, à peu près égales en équarrissage, se posent en retraite de $0^m,03$ sur les rues des murs, afin qu'on puisse les recouvrir d'un lattis et de l'enduit; celle de ces pièces située du côté intérieur doit être surélevée de $0^m,05$ à $0^m,10$ sur l'autre, pour former la feuillure du tableau et l'embrasement. La troisième pièce est simplement un remplissage de plus ou moins d'équarrissage que l'on place entre les deux premières pour y remplir l'espace qui y est resté vide. La *fig.* 14, *Pl. XIII*, représente cette disposition en élévation, en coupe et en plan.

On remplace, surtout pour les baies d'une grande largeur, les linteaux en bois, qui ont l'inconvénient de pourrir assez rapidement, par des arcs en fer ou en fonte.

**Plates-bandes.** — Souvent on substitue aux linteaux en bois ou en fer des plates-bandes en moellons ou meulières, taillées en voussoirs (*fig.* 15, *Pl. XIII*); on peut dissimuler le léger cintre que l'on donne à ces espèces de voûtes au moyen d'un renformis fait sous l'enduit ou d'un embrasement en menuiserie. Ces plates-bandes se construisent très-souvent en briques, que l'on pose soit en largeur, soit en longueur, selon l'ouverture de l'arceau.

Les linteaux se forment quelquefois d'une seule pierre; mais ce ne peut être que pour des ouvertures de faibles dimensions, et encore est-on obligé de former une voûte au-dessus pour les décharger en reportant sur les chambranles le poids de la maçonnerie qui les surmonte. Ce genre de linteaux est assez employé dans quelques localités, mais surtout quand la maçonnerie doit être couverte d'un enduit, à cause de son aspect peu agréable.

Les plantes-bandes en pierre, formées de plusieurs voussoirs ou claveaux appareillés (*fig.* 16, *Pl. XIII*), donnent, sous le rapport de l'aspect et de la solidité, des résultats qui les rendent bien préférables aux linteaux formés d'une seule pierre; mais comme le centre vers lequel tendent les voussoirs est assez éloigné, l'exécution de ces plates-bandes doit être faite avec beaucoup de soins; de plus, quand les baies ont une certaine largeur, on encastre dans les intrados des plates-bandes un ou deux linteaux en fer dont les extrémités reposent sur les sommiers. Ces linteaux doivent être peints à l'huile ou goudronnés pour les préserver de l'oxydation, et on remplit de plâtre coloré de la même couleur que la pierre les entailles faites pour les recevoir, lesquelles doivent avoir une profondeur suffisante pour qu'il y ait au moins un centimètre de plâtre sur le fer; il est bon que ces linteaux portent quelques aspérités faites à chaud au moyen du ciseau pour retenir le plâtre.

**Dimensions des plates-bandes.** — Soit L la moitié de la largeur de la baie à recouvrir, $e$ l'épaisseur de la plate-bande et $x$ la distance du point de concours de tous les plans de joints à l'intrados de la plate-bande, on aura pour une voûte appareillée en plate-bande, toutes les dimensions étant exprimées en mètres (*fig.* 16) :

$$e = \frac{L + 5,00}{14} \quad \text{et} \quad x = \frac{3\,(L^2 - e^2)}{2e}$$

en faisant $L = 0^m,80$, les formules précédentes donnent

$$e = \frac{0,80 + 5,00}{14} = 0^m,414 \quad \text{et} \quad x = \frac{3\,(0,80^2 - 0,414^2)}{2 + 0,414} = 1^m,70.$$

**Epaisseur des murs.** — Cette épaisseur varie selon la longueur et la hauteur du mur et le poids qu'il doit supporter; elle dépend aussi de la position relative du mur : ainsi, la hauteur, la longueur et le poids étant les mêmes, un mur isolé résiste moins que celui qui se rattache à un autre qui lui est perpendiculaire. Ce second résistera moins qu'un troisième qui se rattachera à deux autres, et ce dernier est encore moins résistant que celui qui est soutenu par des planchers ou des charpentes en fer ou en bois. Un mur soutenu par un autre à ses deux extrémités exige une épaisseur d'autant plus grande qu'il a plus de longueur, et quand il est très-long, son épaisseur doit être la même que s'il était isolé.

D'après les observations de Rondelet sur des édifices de tous genres, il résulte qu'un mur a une grande stabilité, s'il a pour épaisseur le $\frac{1}{8}$ de sa hauteur, que le $\frac{1}{10}$ lui procure une stabilité

moyenne, et le $\frac{1}{12}$ le moins de stabilité qu'il puisse avoir. Cependant comme, dans les édifices, les murs se consolident mutuellement, il en résulte qu'avec une moindre épaisseur ils peuvent avoir une stabilité suffisante.

**Pans de bois et cloisons.** — Lorsqu'à un mur on substitue un pan de bois en charpente hourdé en plâtre et ravalé des deux côtés pour ne former qu'une seule pièce, il suffit de lui donner la moitié de l'épaisseur que devrait avoir, d'après la règle, le mur qu'il remplace. Pour une cloison légère qui ne porte pas de plancher, $\frac{1}{4}$ de l'épaisseur du mur suffit.

L'épaisseur des appuis isolés maintenus d'aplomb par les parties environnantes varie de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{12}$ de leur hauteur.

Les observations qui ont permis à Rondelet d'établir les rapports ci-dessus entre la hauteur et l'épaisseur des murs lui ont fait reconnaître que, pour les maisons d'habitation divisées en plusieurs étages par des planchers, et entrecoupées par des murs de refend ou des pans de bois, l'épaisseur des murs de face était de $0^m,41$ à $0^m,65$, celle des murs mitoyens de $0^m,435$ à $0^m,54$, et celle des murs de refend de $0^m,325$ à $0^m,487$.

Les murs mitoyens renfermant ordinairement les cheminées des deux maisons voisines, leur moindre épaisseur $0^m,435$ est plus forte que la plus faible $0^m,41$ des murs de face.

En général les données précédentes de Rondelet ne diffèrent pas sensiblement des épaisseurs en usage aujourd'hui dans la pratique.

**Murs d'enceintes non couverts.** — Soit à déterminer l'épaisseur des divers murs qui forment la clôture polygonale ABCDE (*fig.* 17, *Pl. XIV*); supposons que tous ces murs aient une hauteur uniforme représentée par A'H (*fig.* 18, *Pl. XIV*). Pour trouver l'épaisseur de la partie AB, portons AB de A' en B' et construisons le rectangle A'HH'B'. Tirons la diagonale HB', et portons de H en $m$ un huitième, un dixième ou un douzième de la hauteur A'H, suivant que nous voulons une stabilité forte, moyenne ou faible; menons l'horizontale $m\,n$, elle sera l'épaisseur cherchée. On trouverait l'épaisseur de la partie CD en portant CD de A' en D', menant HD' et opérant comme ci-dessus, $m'n'$ serait l'épaisseur cherchée. On trouverait de la même manière l'épaisseur des autres parties de l'enceinte. Cette construction graphique peut être remplacée par la formule

$$e=\left(\frac{h}{8}\text{ ou }\frac{h}{10}\text{ ou }\frac{h}{12}\right)\frac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}$$

qu'on trouvera facilement en comparant les triangles semblables A'HB' et $m$H$n$, et dans laquelle $e$ exprime l'épaisseur cherchée, $h$ la hauteur au-dessus de la retraite des fondations, et $l$ la longueur du côté de l'enceinte que l'on considère.

Cette formule fait voir que pour une même hauteur l'épaisseur

du côté de l'enceinte diminue en même temps que sa longueur, et qu'elle devient égale à zéro pour le cas où l'on a $l=0$.

Il résulte de là qu'un mur d'enceinte circulaire qu'on peut considérer comme formé d'un nombre infini de côtés infiniment petits, peut se soutenir avec une épaisseur infiniment petite.

Cette conclusion, qui ne semble pas exacte au premier coup d'œil, peut toutefois faire admettre celle-ci, que la forme circulaire est plus favorable que toute autre à la stabilité des murs d'enceinte, et qu'elle permet de leur donner le minimum d'épaisseur. Rondelet fixe ce minimum en donnant aux murs de cette espèce la même épaisseur que celle qu'on assignerait à une enceinte carrée dont le côté serait égal à la moitié du rayon de l'enceinte circulaire de même hauteur, de sorte que si l'on nomme $r$ ce rayon, on aura pour l'épaisseur cherchée

$$e=\left(\frac{h}{8} \text{ ou } \frac{h}{10} \text{ ou } \frac{h}{12}\right)\frac{\frac{1}{2}r}{\sqrt{\frac{r^2}{4}+h^2}}$$

Les épaisseurs données par les formules qui précèdent s'appliquent à toute la longueur des diverses parties de l'enceinte; mais comme il est parfois plus avantageux de la composer d'une succession de piliers espacés les uns des autres de trois ou quatre mètres, et dont l'intervalle est rempli par une maçonnerie plus légère, on pourra, dans ce cas, déterminer ainsi qu'il suit l'épaisseur des diverses parties. On considérera les piliers comme s'ils étaient totalement isolés, et on leur donnera pour côté le $\frac{1}{8}$ de la hauteur, afin de leur assurer une forte stabilité. Quant aux murs de remplissage, on les regardera comme des murs soutenus aux deux bouts par d'autres murs, et l'on règlera leur épaisseur au moyen de la formule

$$e=\left(\frac{h}{8} \text{ ou } \frac{h}{10} \text{ ou } \frac{h}{12}\right)\frac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}$$

dans laquelle on fera $l$ égal à l'intervalle des piliers.

**Murs de bâtiments couverts par un simple toit.** — Lorsque les fermes qui composent la charpente du toit sont munies de tirants ou d'entraits qui empêchent les pieds des arbalétriers de s'écarter et de pousser contre les murs, et quand les chevrons et les autres pièces sont convenablement disposés, ces charpentes, loin de nuire à la stabilité des murs, tendent au contraire à l'augmenter.

Pour déterminer l'épaisseur des murs en pareille circonstance, il y a deux cas à considérer :

1°. Si ces murs sont tout à fait isolés, jusque sous le toit, portez leur hauteur de A en H, (*fig.* 19, *Pl. XIV*), et la distance qui les sépare de A en B; tirez la diagonale HB et portez de H vers I et de B vers K une longueur égale au $\frac{1}{12}$ de AH : les projections horizontales H$n$, B$n'$ de HI et BK sont les épaisseurs des murs longitudinaux.

A cette construction correspond la formule suivante, dans laquelle D représente la distance AB qui sépare les murs.

$$e=\frac{h}{12}\frac{D}{\sqrt{D^2+h^2}}$$

A la rigueur, l'épaisseur trouvée n'est nécessaire qu'aux parties du mur sur lesquelles posent directement les fermes de charpente ; les autres ne sont en réalité que de remplissage, et l'on peut y employer une moindre épaisseur de maçonnerie, ou les évider en tout ou en partie par des portes, des fenêtres ou des arcades. L'épaisseur du remplissage strictement nécessaire serait donnée par la formule

$$e=\left(\frac{h}{8} \text{ ou } \frac{h}{10} \text{ ou } \frac{h}{12}\right)\frac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}$$

dans laquelle $l$ exprimerait la distance qui sépare les fermes.

Si les murs sont contrebuttés jusqu'à une certaine hauteur par des constructions latérales (*fig.* 20, *Pl. XIV*), portez sur HB prolongée HI et BK égales à $\frac{1}{24}$ (AH + HH') et prenez pour épaisseur la projection horizontale de ces grandeurs. Cette construction est représentée par la formule

$$e=\frac{h+h'}{24}\frac{D}{\sqrt{D^2+(h+h')^2}}$$

dans laquelle $h'$ exprime la distance HH'.

Rondelet ne donne pas de règle particulière pour déterminer, dans ce dernier cas, l'épaisseur des murs extérieurs RS, UV ; il fait seulement remarquer que celles qu'on obtient au moyen de la règle

$$e=\frac{h}{12}\frac{D}{\sqrt{D^2+h^2}}$$

en y faisant D = RU, ne concordent pas toujours avec celles qu'il a observées dans les édifices qui lui ont servi de type.

**Murs des maisons d'habitation.** — Dans les constructions de cette espèce, il y a à considérer les murs extérieurs qui ne sont maintenus que d'un côté par les planchers, et les murs intérieurs, qui sont maintenus de part et d'autre.

Pour un corps de logis simple (*fig.* 21, *Pl. XIV*), c'est-à-dire dont les pièces occupent toute la profondeur de l'édifice, on obtiendra l'épaisseur des murs de façade AB, CD en ajoutant à la distance AC = D qui les sépare, la moitié de leur hauteur AH = $h$; le $\frac{1}{24}$ de cette somme donnera l'épaisseur cherchée. Cette règle peut être exprimée par la formule

$$e=\frac{D+\frac{h}{2}}{24}$$

Il faut observer cependant que l'épaisseur ainsi déterminée ne convient, suivant Rondelet, que pour une construction légère. Pour une construction de force moyenne, il faut l'augmenter de $0^m,027$, et, pour une construction solide, de $0^m,054$.

Pour un corps de logis double (*fig.* 22, *Pl. XIV*), c'est-à-dire divisé en deux par un mur de cloison parallèlement aux murs de face, on obtient l'épaisseur de ces derniers en ajoutant à la distance $AC = D'$ qui les sépare la hauteur $AH = h'$, et en prenant le $\frac{1}{48}$ de cette somme, ce qui donne la formule

$$e = \frac{D' + h'}{48}.$$

Pour les corps de logis doubles, aussi bien que pour les corps de logis simples, l'épaisseur des murs de cloison ou de refend se détermine en ajoutant à la longueur de l'espace qu'ils divisent la hauteur qui sépare le pavé du rez-de-chaussée du plancher du premier étage, et en prenant le $\frac{1}{36}$ de cette somme; règle qu'on peut traduire par la formule

$$e = \frac{D'' + h''}{36}.$$

Supposons qu'il s'agisse du mur EF (*fig.* 21, *Pl. XIV*), on fera $D' = AG$ et $h' = Ah$; pour le mur GE (*fig.* 22, *Pl. XIV*), on ferait $D' = AC$ et $h' = Ah'$, et ainsi de suite.

Cette règle pourra également servir pour déterminer l'épaisseur des murs mitoyens.

Il faut observer que l'épaisseur trouvée au moyen de la formule précédente ne convient qu'au mur dont la hauteur ne dépasserait pas celle du premier étage. Lorsqu'il s'élève au delà, Rondelet prescrit d'ajouter à l'épaisseur trouvée autant de fois $0^m,014$ qu'il y a d'étages au-dessus du rez-de-chaussée, représentant par $n$ le nombre d'étages; l'épaisseur sera donc donnée en général par la formule :

$$e = \frac{D' + h'}{36} + n\,(0^m,014).$$

## THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE DES VOUTES.

Les voûtes peuvent affecter un très-grand nombre de formes, dont les principales ont été étudiées dans nos volumes précédents. Dans ce qui va suivre, nous aurons principalement en vue les voûtes en berceau, c'est-à-dire celles qui ont pour génératrice un arc de cercle et dont l'axe est droit. Ce sont celles dont on fait le plus communément usage; il sera facile d'étendre aux voûtes d'un autre genre les considérations qui s'appliquent à celles-ci.

La théorie de l'équilibre des voûtes a fourni un très-grand aliment à la curiosité et aux recherches des géomètres. Nous ne rapporterons

ici de ces recherches que ce qui nous a paru particulièrement utile aux praticiens.

Une question très-intéressante pour les constructeurs a été soumise aux vérifications du calcul ; il s'agissait de déterminer, en prenant les formes généralement employées, l'épaisseur qu'il faut donner aux diverses parties d'une voûte, pour qu'elle reste en équilibre et qu'elle puisse résister aux forces accidentelles qui pourraient la menacer de destruction.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur la *fig.* 23, *Pl. XIV*, pour s'apercevoir bien vite que le voussoir de la clef et ceux qui se trouvent dans son voisinage ne sont maintenus dans leur position que par la réaction qu'ils éprouvent de la part des voussoirs placés près des naissances ; et que la voûte s'écroulerait infailliblement, si la tendance des premiers à descendre, en vertu de la pesanteur, n'était suffisamment contre-balancée par la tendance des seconds à les soulever, en obéissant aux mêmes lois de la gravité.

On conçoit donc sans difficulté que les questions relatives à l'établissement des voûtes sont susceptibles d'être traitées par les principes ordinaires de la statique.

On doit à Parent et à La Hire les premières recherches à ce sujet.

La Hire suppose : 1°. Qu'une voûte en plein cintre trop faible se rompt toujours au milieu des reins, c'est-à-dire suivant les lignes MN, *mn*, faisant avec la verticale un angle de 45 degrés (*fig.* 23, *Pl. XIV*).

2°. Qu'une voûte surbaissée et en anse de panier, dont la flèche ou montée est égale au $\frac{1}{5}$ de la corde ou portée (disposition communément adoptée), se rompt dans le prolongement de deux rayons faisant un angle de 30 degrés avec la verticale (*fig.* 24, *Pl. XIV*) et appartenant à la partie supérieure de la courbe.

3°. Que dans l'un et l'autre cas, la partie supérieure MN, *nm*, agit comme un coin qui tend à descendre entre les deux plans MN, *mn*, en faisant pirouetter, de dedans en dehors, les parties inférieures de la voûte autour de l'arête extérieure de la naissance ou du pied-droit.

4°. Que les surfaces de glissement MN, *mn*, sont infiniment polies, ce qui permet de faire abstraction du frottement.

Partant de ces hypothèses, La Hire recherche quelle est la pression exercée perpendiculairement à chacun des plans MN, *mn*, et d'après cela l'épaisseur qu'il faut donner aux parties inférieures de la voûte, pour qu'elles aient assez de stabilité pour résister à cette pression. Les calculs sont alors d'une grande simplicité, et ils conduisent à des résultats reconnus immédiatement applicables à la pratique, ce qui, comme nous le verrons ultérieurement, n'est pas le cas de la théorie plus savante, mais aussi plus compliquée, par laquelle on a remplacé celle dont nous venons de donner une idée.

Les hypothèses arbitraires de La Hire durent nécessairement être attaquées, et l'on entreprit des expériences, tant en petit qu'en grand, pour démontrer leur manque de fondement.

M. Danisy démontra devant l'Académie de Montpellier, en 1732,

au moyen de petits modèles de voûtes, que généralement les ruptures ne s'opèrent pas ainsi que l'avait supposé La Hire. Il constata que lorsqu'une voûte se rompt par la prépondérance des parties supérieures sur les parties inférieures, elles se divisent en quatre quartiers qui tendent à tourner, ainsi que l'indique la *fig.* 25, *Pl. XIV*, en agissant les uns contre les autres à la manière de leviers pesants.

Plus tard, ces résultats furent vérifiés en grand par M. Boistard, ingénieur des Ponts et Chaussées, qui constata, de plus, que quand les voûtes tendent à se rompre par la prépondérance des parties inférieures, la rupture s'opère encore d'une manière analogue, mais en sens inverse (*fig.* 26, *Pl. XIV*).

On constata en outre, dans ces diverses expériences, que les joints de rupture MN, *mn*, ne se manifestent pas toujours au milieu des reins, ainsi que l'avait supposé La Hire, mais que leur position varie, au contraire, suivant différentes circonstances.

On reconnut enfin que la rupture pouvait aussi avoir lieu par glissement des diverses parties des voûtes les unes sur les autres, mais que ce mode de rupture ne se produisait réellement que dans des cas tout à fait exceptionnels.

Ces diverses observations forment la base de la théorie actuelle que nous allons maintenant exposer.

**Exposition de la théorie.** — On suppose : 1°. Qu'il se trouve au milieu de la clef un joint vertical qui divise la voûte en deux parties égales;

2°. Qu'il existe des joints aux points où la voûte est le plus disposée à se rompre;

3°. Que la maçonnerie de la voûte et de ses pieds droits est homogène dans toute son étendue, d'où il résulte que les poids des divers quartiers qu'on a à considérer sont proportionnels à leur surface de section.

**Poussée horizontale.** — Soit (*fig.* 27, *Pl. XIV*) une voûte en berceau ABC posant sur ses pieds droits AFCE. On voit sans peine que les deux demi-voûtes situées à droite et à gauche du joint vertical BH ne se tiennent dans la position où elles sont représentées qu'en vertu de l'action réciproque qu'elles exercent l'une contre l'autre, par suite de leur tendance à tomber en tournant autour des points E, F. L'on voit aussi qu'on ne changerait rien à l'état d'équilibre en supprimant l'une des deux moitiés, et en la remplaçant par une force horizontale P appliquée contre le joint BH.

Cette force P, provenant de la réaction des deux demi-voûtes l'une contre l'autre, est ce qu'on appelle la *poussée horizontale de la voûte*, et c'est de sa connaissance que dépend la solution des principaux problèmes relatifs à la stabilité des voûtes.

Pour qu'il y ait équilibre dans toute la demi-voûte, il faut nécessairement que cette force satisfasse à la condition d'empêcher une portion BNMH quelconque de tourner autour de l'arête M, ou de glisser dans le sens NM; et de plus, il faut que cette force ne soit pas assez grande pour déterminer la rotation autour de l'arête N′ d'une portion quelconque BN′M′H de la demi-voûte, ou pour la faire glisser dans le sens de M′N′.

Ces diverses conditions permettront toujours de déterminer la poussée horizontale de la voûte.

Soit Q le poids de la portion de voûte BNMH, supposé concentré en son centre de gravité G :

$Q'$ le poids de la portion BN'M'H, supposé concentré en son centre de gravité G';

$\varphi$ la distance $Mx$ ;

$\varphi'$ la distance $N'x'$ ;

$y$, $y'$ les distances $My$, $N'y'$ ;

$z$ l'angle du joint MN avec la verticale ;

$z'$ l'angle du joint M'N' avec la verticale ;

$f$ le coefficient de frottement convenable aux pierres de la voûte ;

L'équilibre exigera, d'après ce qui vient d'être dit :

1°. Que le moment de P par rapport à M soit égal au moment de Q par rapport au même point, ou plus grand que lui, c'est-à-dire que l'on ait

$$Py = > Q\varphi$$

ou

$$P = > \frac{Q\varphi}{y}.$$

2°. Que le moment de P par rapport à N' soit égal au moment de Q' par rapport au même point, ou plus petit que lui, c'est-à-dire que

$$Py' < = Q'\varphi'$$

ou

$$P < = \frac{Q'\varphi'}{y'}.$$

3°. Que la tendance au glissement suivant NM soit égale à la force qui tend à retenir le voussoir MNBH sur ce plan, ou plus petite qu'elle.

Décomposons les forces P et Q parallèlement et perpendiculairement au plan MN. Les composantes parallèles sont $P \sin z$ et $Q \cos z$. Les composantes normales sont $P \cos z$ et $Q \sin z$. La composante $Q \cos z$ tend seule à faire glisser le voussoir suivant NM. La composante $P \sin z$ s'oppose directement à ce mouvement, et les composantes normales $P \cos z$ et $Q \sin z$ engendrent sur ce plan un frottement représenté par $f\,(P \cos z + Q \sin z)$ qui s'ajoute à $P \sin z$. On devra donc avoir, d'après ce qui vient d'être dit,

$$Q \cos z < = P \sin z + f\,(P \cos z + Q \sin z)$$

ou bien

$$P = > Q \frac{\cos z - f \sin z}{\sin z + f \cos z}.$$

4°. Que la tendance au glissement suivant M' N' soit plus petite que la force qui s'y oppose ou égale tout au plus à cette même force, c'est-à-dire que

$$P \sin z < = Q \cos z + f\,(P \cos z + Q \sin z)$$

ou bien

$$P < = Q \frac{\cos z + f \sin z}{\sin z - f \cos z}.$$

**Détermination des plans de rupture.** — Si l'on connaissait, ainsi que nous l'avons supposé jusqu'à présent, la position des plans de rupture MN, M' N', la recherche de la grandeur de la poussée et la solution des questions relatives à l'établissement des voûtes n'offriraient pas de grandes difficultés, même en les envisageant sous le point de vue le plus général. Mais la position de ces plans n'étant pas connue *à priori*, il faut commencer par la déterminer, et c'est en cela que réside, comme on le verra, la principale difficulté.

On aperçoit tout d'abord que, quel que soit le mode de rupture que l'on considère, la force P prendra autant de valeurs que l'on assignera de positions au joint MN ou M'N'. Or comme elle reste la même pour une même voûte, il est visible qu'elle devra être telle qu'elle soit capable de maintenir une position quelconque de la demi-voûte contre tout mouvement qui tendrait à s'y produire.

Considérons. par exemple, le cas où la rupture aurait lieu comme dans la *fig.* 25, *Pl. XIV*, c'est-à-dire par rotation des parties supérieures autour de l'arête située à l'intrados de la voûte, il est clair que la valeur de P devra être au moins égale au maximum de $\frac{Q\varphi}{y}$, puisque, si elle était plus petite, il y aurait évidemment une position telle que le moment du poids du voussoir MNHB, *fig.* 27, l'emporterait sur celui de la poussée horizontale, et pour laquelle l'équilibre n'aurait pas lieu.

Si, au contraire, la rupture tendait à se faire en sens inverse, la poussée P devrait être égale au minimum de l'expression $\frac{Q\varphi'}{y'}$, parce que, si elle était plus grande, il y aurait encore une fois une position de joint pour laquelle l'équilibre serait rompu.

On appliquera aisément ces raisonnements au cas de la rupture par glissement, et l'on verra que, dans les cas où les parties supérieures tendent à descendre, la force P doit être égale au moins au maximum de l'expression

$$Q\frac{\cos z - f\sin z}{\sin z + f\cos z},$$

et, dans le cas contraire, au plus égale au minimum de l'expression

$$Q\frac{\cos z + f\sin z}{\sin z - f\cos z}.$$

C'est donc de la recherche de ces maximums et minimums qu'il faut d'abord s'occuper.

Afin de faciliter cette recherche, nous observerons :

1°. Que dans les cas ordinaires de la pratique, il n'y a que deux modes de rupture possibles : ceux où les parties supérieures de la voûte tendent à descendre par l'effet de leur poids, soit en tournant autour de l'arête M, soit en glissant sur le plan NM, en repoussant ainsi les parties inférieures en dehors ; les deux autres modes de rupture n'ont chance de se produire que dans le cas de très-fortes surcharges placées sur les reins.

2°. Que dans les voûtes en plein cintre, extradossées d'égale épaisseur, la rupture tend à se faire vers l'angle de 60 degrés avec la verticale.

3°. Que dans les voûtes en anse de panier, décrites avec trois arcs de cercle de 60 degrés environ et surbaissées au tiers ou au quart, la rupture tend à se faire vers l'angle de 45 ou de 55 degrés à compter de la naissance du petit arc.

4°. Enfin, que dans les voûtes en arc de cercle, le point de rupture est à l'intersection de l'arc et du pied-droit, à moins que la voûte ne soit extradossée sur une très-petite épaisseur ou que l'amplitude de l'arc ne dépasse 120 degrés.

**Expression de la poussée dans l'hypothèse du glissement.** — Les formules qui précèdent résultent de la supposition que la voûte se rompait par rotation; mais, pour être certain de la véritable valeur de la poussée, il faut examiner encore si la voûte, en se rompant par glissement des parties supérieures sur les inférieures, n'engendrerait pas une poussée plus grande que celle trouvée ci-dessus.

Cette nouvelle recherche se fait en prenant le maximum de l'expression

$$P = Q\frac{\cos z - f\sin z}{\sin z + f\cos z}.$$

Faisons $f = \text{tang}\,\theta$; $\theta$ étant l'angle de frottement des pierres les unes sur les autres, angle que l'on prend moyennement égal à 30 degrés avec l'horizon. La formule précédente peut se mettre sous la forme

(A) $$P = \frac{Q}{\text{tang}(z+\theta)} = \frac{Q}{\text{tang}(z+30°)}.$$

Comme on a en outre

$$Q = \text{surf ONH} - \text{surf OMB},$$

$$Q = \frac{1}{2}z(R^2 - r^2),$$

et en remplaçant R par sa valeur $Kr$,

$$Q = \frac{1}{2}r^2(K^2 - 1)z,$$

l'expression (A) devient

(B) $$P = \frac{1}{2}R^2\frac{(K^2-1)z}{\text{tang}(z+30°)}.$$

Le maximum de cette expression ne peut s'obtenir que par tâtonnement. On trouve, par exemple, en prenant $K = 1,10$, que l'angle $z$ qui rend P maximum est égal à 26 degrés, et en substituant cette valeur dans l'expression (B), on trouve pour le maximum de P

$$P_m = 0,03213\,.\,r^2.$$

On voit donc que pour les voûtes de l'espèce considérée, la poussée serait bien moindre, en supposant que la rupture s'effectuera par glissement, que quand on admet qu'elle aura lieu par rotation,

et que c'est, en conséquence, la valeur déduite de cette dernière hypothèse qu'il faut adopter.

### VOUTES D'UNE ESPÈCE PARTICULIÈRE.

Les règles établies précédemment répondent aux cas qui se présentent journellement dans la pratique ; mais il existe d'autres dispositions de voûtes, qui sont d'un ordre plus élevé, et dont la construction demande une étude spéciale et approfondie. Pour ces voûtes qui ne sont employées que dans des cas particuliers, il arrive assez souvent aux constructeurs qui les exécutent de déduire leurs dimensions de celles des voûtes semblables, exécutées à peu près dans les mêmes conditions ; mais comme il est très-important de pouvoir vérifier la justesse de ces dimensions, en faisant l'énumération rapide de ces voûtes, nous indiquerons les principales règles qui peuvent servir à vérifier leur stabilité pratique.

**Dômes.** — Considérons d'abord un dôme à intrados hémisphérique (*fig.* 28, *Pl. XIV*). Supposant, comme on doit le faire dans ces sortes de calculs, que les matériaux n'exercent entre eux aucun frottement et aucune adhérence, et que les dimensions de l'extrados étant réglées de telle manière qu'en chaque point de l'intrados la composante normale des actions exercées est constante, d'où il résulte que la surface d'équilibre de cet intrados est celle d'une sphère, Déjardin, en considérant la voûte comme composée d'onglets infiniment petits déterminés par des plans méridiens verticaux, arrive à la formule

$$(1) \qquad q = \frac{Q}{\sin\alpha},$$

dans laquelle Q est la poussée horizontale sur le joint de la base, rapportée à l'unité de longueur de la circonférence inférieure de l'intrados, et calculée comme pour un berceau cylindrique dont le profil serait celui déterminé dans le dôme par le plan du méridien.

$q$ est la poussée horizontale sur un point quelconque $mn$, rapportée à l'unité de longueur du parallèle de l'intrados déterminé par le joint $mn$.

$\alpha$ est l'angle que fait la génératrice $On$ du joint $mn$ avec la verticale.

La relation précédente est tirée de ce que la poussée horizontale totale est la même pour tous les joints, pris en totalité ou sur un même onglet, et elle montre que, rapportée à l'unité de longueur des parallèles de l'intrados, cette poussée croît depuis la base jusqu'au sommet en raison inverse de sin $\alpha$ ou du rayon des parallèles horizontaux de l'intrados.

Supposant la voûte complétée par la juxtaposition de tous les onglets différentiels qui ont servi à établir la relation précédente, l'équilibre de la voûte entière aura lieu s'il a été établi dans chaque onglet en particulier.

Concevons maintenant que de la voûte complète on enlève une calotte se terminant en joint conique $mn$, dont la génératrice fait un angle $\alpha$ avec la verticale, et qui s'appuie, par conséquent, sur un parallèle de l'intrados ayant un rayon égal à $r \sin\alpha$. D'après ce qu'on

a vu tout à l'heure, chaque point du lit parallèle éprouvera par unité de longueur une poussée horizontale $q = \frac{Q}{\sin\alpha}$, dirigée vers l'axe vertical de la sphère, et cette action normale continue fera naître, suivant le parallèle, une pression circulaire dont l'intensité totale sera égale à

$$r\sin\alpha \frac{Q}{\sin\alpha} = Qr.$$

Ainsi lorsqu'on enlève une portion quelconque de la calotte sphérique, il s'établit immédiatement un nouveau mode d'équilibre, en raison duquel le parallèle supérieur éprouve une pression circulaire horizontale qui, pour tous les parallèles, est égale au produit du rayon de l'intrados par la poussée horizontale qui résulte du profil du dôme, considéré comme le profil d'un berceau droit. La coupole inférieure du Panthéon français est, suivant ce principe, evidée à sa partie supérieure; la lunette a 9m,56 de diamètre, celui de la coupole à sa naissance étant de 20m,36.

Il résulte de là que l'équilibre des voûtes en dôme peut se maintenir et que la poussée peut s'y établir de deux manières bien distinctes : ou bien la voûte se partage en onglets qui s'équilibrent deux à deux en s'arc-boutant par le sommet, alors la pression sur l'unité de surface des voussoirs croîtrait fort rapidement de la base au sommet; ou bien la voûte se partage en rangs circulaires de voussoirs aboutissant à des parallèles de l'intrados. Alors chacun de ces parallèles, en raison du poids de la partie supérieure, éprouve une tension circulaire égale à $Qr$, et qui est immédiatement combattue par la pression égale du rang de voussoirs qui le touche inférieurement. *Cette pression circulaire constante remplace ici la poussée horizontale constante des voûtes en berceau.* Dans la réalité, il est probable que l'équilibre naturel participe des deux modes de résistance que l'on vient de spécifier, sans qu'il soit possible d'assigner à chacun son degré de prépondérance. Quoi qu'il en soit, il reste bien évident que l'équilibre de la voûte ne peut être rompu sans que ces deux espèces de résistances aient été vaincues ensemble ou successivement, et qu'on assurera péremptoirement la stabilité en rendant sensiblement indéfinie l'une de ces deux résistances. De là l'efficacité parfaite de ceintures circulaires que l'on applique à l'extérieur des dômes. Suivant ce qui a été démontré ci-dessus, la tension des ceintures est la même, à quelque hauteur qu'on les place, de même que dans les voûtes en berceau la tension des brides horizontales serait la même à toute hauteur.

**Profil des voûtes en dôme.** — Le profil des berceaux circulaires, qui, d'après ce qui précède, deviendrait celui des dômes à intrados sphériques, aurait l'inconvénient de conduire à un extrados très-aplati, et qui souvent ne se prêterait point à la forme extérieure que l'on veut donner aux dômes. On remédiera à cet inconvénient en adoptant pour l'intrados un profil surhaussé tel que le profil d'équilibre de l'extrados correspondant se rapproche de la figure voulue. Cette combinaison pourra même avoir un grand avantage d'éco-

nomie; car, suivant ce qui précède, la longueur des joints ira en diminuant depuis le sommet jusqu'à la naissance, ce qui permettra de réduire les dimensions du tambour portant le dôme. La coupole extérieure du Panthéon français a un intrados surhaussé, et cependant son épaisseur croît depuis le sommet, où elle est de $0^m,35$, jusqu'à la base, où elle est de $0^m,70$. Ces proportions sembleraient être un contre-sens.

Soit proposé de déterminer le profil d'équilibre d'un dôme dont l'extrados serait une surface sphérique. On doit, d'après ce qui précède, ramener cette question à la recherche de la courbe d'intrados d'un berceau droit dont l'extrados serait circulaire, recherche que l'on peut pratiquement se contenter d'aborder ainsi : Supposons (*fig.* 28, *Pl. XIV*) que pendant la construction les voussoirs étaient, non pas portés sur un cintre fixe, suivant l'intrados MDM', mais suspendus à un système fixe appliqué suivant l'extrados AEA'. Pour que la forme circulaire de l'extrados se conserve lorsque la voûte sera abandonnée à elle-même, il faut et il suffit que toutes les actions aux points N, $n$, etc., aient une composante constante normalement à l'extrados, c'est-à-dire suivant les directions ON, $on$, etc. Alors il s'établira, suivant l'arc d'extrados, une pression circulaire qui remplacera précisément le système de suspension des voussoirs. L'équation de l'intrados MDM' rapportée aux coordonnées polaires $\rho$ et $\alpha$ deviendra pratiquement

$$(1) \qquad \rho = r - \frac{e}{\cos\alpha},$$

$r$ désignant ici le rayon de l'extrados, et $e$ l'épaisseur à la clef DE.

On peut construire cette courbe par le procédé suivant : on mènera l'horizontale GG' à une distance $OO' = e$ au-dessous du diamètre de l'extrados, et pour avoir un point quelconque $m$ de l'intrados, on prolongera le rayon $n$O jusqu'à sa rencontre B avec l'horizontale GG', et on portera de B en $m$ la longueur $r$.

La courbe d'intrados que l'on vient à déterminer n'est autre chose que la branche inférieure d'une péricycloïde dont chacune des deux branches est représentée par l'équation (1) ci-dessus, lorsqu'on y fait varier $\alpha$ depuis 0 jusqu'à 180 degrés. En d'autres termes, la solution répond à la fois à la question directe d'un intrados circulaire et à la question inverse d'un extrados circulaire.

En discutant l'équation (1), on reconnaît que la courbe a une tangente verticale au point M, sur le joint à 60 degrés, pourvu que les dimensions $e$ et $r$ soient liées par la relation parfaitement admissible dans la pratique

$$(2) \qquad e = \frac{r}{8}.$$

Si cette condition n'était point satisfaite, la tangente verticale correspondrait à un joint dont l'inclinaison $\alpha$ sur la verticale serait donnée par l'équation

$$(3) \qquad \cos\alpha = \sqrt[3]{\frac{e}{r}}.$$

On pourra donc disposer d'une des indéterminées $e$ et $r$, de manière à donner à la coupole intérieure une montée ou une ouverture donnée.

En raisonnant ici comme on l'a fait pour les berceaux circulaires, on trouvera l'expression de la poussée horizontale constante rapportée à l'unité de longueur du berceau

$$(4) \qquad Q = \frac{d}{2}(2\,er - e^2).$$

En concluant maintenant le profil dérivant du dôme équilibré de celui du berceau analogue, on voit que la pression circulaire a toujours pour expression $Qr$.

**Pieds-droits des dômes.** — Les pieds-droits circulaires qui supportent les dômes ont reçu le nom de *tambours*. Leur établissement ne peut présenter aucune difficulté, d'après ce qui a été exposé précédemment. Si le dôme se partageait en onglets, comme on l'a supposé d'abord, pour régler son établissement dans l'hypothèse la plus défavorable, et qu'en même temps le tambour se partageât, suivant les mêmes plans méridiens, en autant de secteurs infiniment petits, chacun de ces derniers devrait être considéré comme le pied-droit d'une voûte circulaire représenté par un des onglets du dôme ; conséquemment, le profil du tambour serait celui du pied-droit de la voûte, comme le profil du dôme est celui de la voûte même.

Mais, ainsi qu'on l'a vu, la poussée du dôme, suivant les rayons du cercle de base, sera considérablement réduite par l'effet des résistances accessoires du frottement, de l'adhérence et de la dureté des matériaux. Cette poussée pourra même être complétement annulée par des moyens de consolidation parfaitement admissibles dans une saine pratique, comme l'application des ceintures en fer sur la surface extérieure, ou en substituant à ces ceintures plusieurs autres systèmes tout aussi efficaces, quoique moins coûteux et plus commodes dans la pratique, tels que, par exemple, un cercle en fer plat goujonné ou simplement encastré dans toutes les faces horizontales d'un même rang de voussoirs, ou bien des attaches ordinaires d'une pierre à l'autre, ou bien encore de simples goujons en fer ou en chêne sec, de petite longueur, implantés avec mortier dans les joints verticaux de deux voussoirs consécutifs, de manière à former tenon entre eux, ou enfin en rendant les voussoirs d'un même rang circulaire solidaires entre eux au moyen d'un artifice quelconque d'appareils qui appliqueraient à l'office voulu la résistance transverse des voussoirs. Lorsqu'un de ces moyens est appliqué, le tambour n'a plus à remplir d'autre office que de soutenir le poids du dôme et son propre poids. Toute l'étude de son établissement se réduira à examiner si la base du tambour offre, en raison de sa surface et de la nature des matériaux, une résistance pratique à l'écrasement qui réponde au poids cumulé de ce tambour même et du dôme. Cette vérification était la seule à faire pour le dôme du Panthéon français, qui, comme on sait, n'a point éprouvé d'autre accident que celui de l'écrasement des pieds-droits.

Suivant Rondelet, les diamètres de quelques dômes principaux

sont : 1° Panthéon de Rome, extérieurement 55 mètres, intérieurement 43 mètres ; 2° grande coupole de Saint-Pierre de Rome, 41 mètres; 3° Saint-Paul de Londres, 34 mètres ; 4° coupole extérieure du Panthéon français, 23m,76 en dehors et 22m,36 à l'intérieur.

Le dôme principal de l'église de Saint-Isaac, en Russie, a intérieurement 19m,509, et extérieurement 20m,728.

**Niches.** — Une des applications les plus fréquentes de l'établissement des dômes est celle des *niches sphériques*, qui sont formées de la moitié d'un dôme coupé suivant un plan méridien vertical ; ce plan est le plan de tête de la niche, dont l'extrados d'ailleurs est ordinairement noyé dans un massif de maçonnerie. On trouve que la poussée totale que peut éprouver la tête d'une niche sphérique dans une direction perpendiculaire à son plan reste comprise entre 3,14$Qr$ et 2$Qr$, $r$ étant le rayon de la niche et Q la poussée horizontale, due à son profil d'équilibre, considéré comme appartenant à un berceau droit.

Cette poussée sera toujours considérablement atténuée par les résistances accessoires, qui jouent ici le même rôle que dans les dômes, et cela d'autant plus que la tête de la niche supporte presque toujours la charge d'un mur qui concourt énergiquement à accroître la résistance au déplacement des voussoirs. On pourrait d'ailleurs ajouter encore à ces résistances naturelles par l'un des procédés indiqués plus haut.

La combinaison la plus efficace pour assurer la stabilité d'un hémicycle ou d'une niche de grande dimension consiste à la prolonger par une voûte en berceau dont l'intrados est décrit du même rayon que la niche même. La résistance est alors continue comme l'action, et elle peut être regardée comme indéfinie, puisqu'elle n'a pour limite que le déplacement du berceau tout entier dans le sens de sa longueur. Si, comme cela a lieu dans un pareil cas, l'extrados de la niche doit être nu, on pourra y annuler la poussée, comme il a été dit précédemment, en rendant cette niche solidaire du berceau.

Si une niche, au lieu d'avoir un intrados sphérique, avait tout autre intrados en surface de révolution ou en surface courbe quelconque, on conclurait toujours son établissement de celui du dôme dont elle dérive, conformément à ce qui a été exposé ci-dessus.

**Voûtes en arc de cloître et voûtes d'arête.** — Ces deux systèmes de voûte sont pour ainsi dire inverses l'un de l'autre ; si un même espace quadrangulaire ABCD est recouvert soit par une voûte en arc de cloître (*fig.* 29, *Pl. XIV*), soit par une voûte d'arête (*fig.* 30, *Pl. XIV*) ; dans le premier cas, l'une des surfaces cylindriques d'intrados projetée en AOB, par exemple, aura ses génératrices parallèles à la face AB, les arêtes de rencontre AO, BO, se profileront en creux, et le mur AB devra être conservé entier pour former pied-droit ; dans le second cas, la portion d'intrados cylindrique AOB aura ses génératrices perpendiculaires à la face AB, les arêtes de rencontre AO, BO, se profileront en saillie, et le mur sera supprimé dans tout l'intervalle AB, les piliers AM, BN servant seuls de pieds-droits à la voûte sur la surface AB. Les différences sont les mêmes dans les trois autres espaces triangulaires AOD, DOC, COB.

D'ailleurs l'une ou l'autre de ces voûtes peut recouvrir un espace polygonal autre qu'un rectangle. Dans le cas de la voûte en arc de cloître, le mur formant pied-droit est contenu sur tout le contour du polygone; dans le cas de la voûte d'arête, il reste seulement un pilier à chaque angle du polygone, et d'un pilier à l'autre règne une tête de berceau droit. On trouve à cet égard des exemples très-variés dans les édifices du style sarrasin, où les entre-croisements de voûtes sont accusés par des nervures d'une élégance remarquable. Dans l'église de Notre-Dame des Fleurs, à Florence, la partie centrale de la nef est couverte par une voûte en arc de cloître octogone de 42 mètres de diamètre.

L'établissement de la voûte en arc de cloître sera tout à fait analogue à celui du dôme que l'on peut considérer comme une voûte en arc de cloître d'un nombre infini de côtés.

Supposons qu'une voûte en arc de cloître, ayant pour base un polygone régulier (*fig.* 29, *Pl. XIV*), soit partagée par des plans verticaux, menés suivant ses arêtes, en autant d'onglets qu'il y a de côtés dans le polygone de base. Si l'on regarde l'adhérence et la résistance transverses des matériaux comme nulles, chacun de ces onglets devra se maintenir en équilibre séparément, et exercer, tant au sommet qu'à la base, une poussée horizontale totale G qui soit constante sur un joint horizontal quelconque dudit onglet. Soit $l$ la longueur AB du polygone de base, Q la poussée horizontale qu'il supporte, rapportée à l'unité de longueur, il faut que

$$G = Ql.$$

De même, si l'on considère un joint quelconque *mn* déterminé par le plan de joint qui fait un angle $\alpha$ avec la verticale, sa longueur est seulement $l \sin \alpha$, et la poussée horizontale $q$ qu'il supporte rapportée à l'unité de longueur, est telle que

$$G = ql \sin \alpha, \quad \text{d'où } q = \frac{Q}{\sin \alpha}.$$

La voûte complète, résultant de la réunion de tous les onglets égaux à AOB, sera elle-même en équilibre si chaque onglet a été établi suivant le profil d'équilibre du berceau droit de même intrados.

Si l'on enlevait la portion *mOn* dans chaque onglet, l'équilibre ne pourrait subsister, à moins que le joint *mn* ne fût rendu parfaitement rigide.

Si R′ représente le rayon OA du cercle circonscrit, R le rayon O*a* du cercle inscrit, $\omega$ le demi-angle au centre du polygone, on a $\cos \omega = \frac{R}{R'}$; conséquemment la poussée horizontale exercée suivant l'arête OA, par les deux joints *mn*, *mn′* qui s'y coupent en *m*, a pour valeur

(1) $$F = Ql \frac{R}{R'}.$$

Il résulte de là que la pression $t$ supportée par chaque joint $mn$, $mn'$, dans le sens de sa longueur, est

$$(2) \qquad t = F\frac{R'}{l}, \text{ d'où } t = QR.$$

Ainsi, quelle que soit la hauteur du joint horizontal à partir duquel on enlève la partie supérieure d'une voûte en arc de cloître : 1° la poussée horizontale qui s'établit suivant chaque arête est constante et ne dépend que du profil de la voûte et de la figure du polygone de base ; 2° la pression qui s'établit suivant chaque joint supérieur est constante aussi et égale au produit du rayon du cercle inscrit au polygone de base par la poussée horizontale résultant du profil d'équilibre de la voûte.

Ces résultats, complétement analogues à ceux qu'on a obtenus pour les dômes, montrent que la stabilité des voûtes en arc de cloître peut, jusqu'à un certain point, s'établir de deux manières distinctes, c'est-à-dire par poussée suivant les onglets que limitent les arêtes, ou par poussée suivant les joints horizontaux. L'état naturel d'équilibre participe nécessairement de ces deux modes de stabilité, et il se trouve puissamment favorisé, soit par l'adhésion des matériaux entre eux, soit par la résistance des chaînes d'arête, qui empêchent la division en onglets. Une ceinture étreignant la voûte suivant le contour du polygone de base, et dont la tension serait égale à $Qr$, suffirait pour annuler la poussée à chaque angle du pied-droit, mais pourvu que sur la longueur du côté du polygone chaque partie du pied-droit soit rigide ; il faudrait donc, pour obtenir cette condition et rendre la ceinture complétement efficace, que, d'un angle à l'autre du pied-droit, on prévînt la flexion de la maçonnerie au moyen d'une ferme en fer posée horizontalement et reliée à ses deux extrémités avec les articulations de la ceinture, ou par tout autre système dont la résistance serait suffisante dans la circonstance considérée. Un tel système sera toujours très-facile à établir, si l'on considère qu'il fonctionne rigoureusement comme une pièce posée sur deux appuis, et qui supporte perpendiculairement à sa longueur une charge totale $Ql$ distribuée uniformément.

La poussée étant détruite dans les voûtes en arc de cloître, soit par les résistances accessoires dues à la nature des matériaux, soit par un procédé quelconque de consolidation, l'établissement des pieds-droits ne comportera plus que la vérification de leur résistance à l'écrasement.

**Établissement des voûtes d'arête.** — Les voûtes d'arête ne sauraient être, comme les voûtes en arc de cloître, partagées en sections qui doivent se maintenir séparément en équilibre. Ici, au contraire, chaque portion de voûte ne peut se soutenir qu'en s'appuyant sur les deux portions voisines, comme un berceau sur ses culées ; toute la poussée se trouve composée dans le sens de la longueur de chaque arête, et transmise intégralement à chaque pilier, dans le sens de la diagonale de sa base. Considérons d'abord une voûte d'arête projetée sur un carré ABCD (*fig.* 30, *Pl. XIV*) et dont l'intrados est décrit d'un rayon $r$ égal à la demi-longueur d'un côté.

Supposons que le profil des quatre berceaux droits tronqués AOB, BOC, etc., soit celui d'équilibre. Le berceau AOB exercera tant en $m'$ qu'en $m''$, et dans le sens de la ligne $m'\,m''$, une certaine poussée horizontale Q rapportée à l'unité de longueur et qu'on sait calculer. La poussée Q est constante, quelle que soit la position des points $m'$, $m''$ correspondant à un joint quelconque $m$ de l'intrados.

Pour toute l'étendue du berceau tronqué AOB, la poussée horizontale sera donc $Qr$, attendu que $Oa = Aa = r$. L'arête AO recevra toute cette poussée, laquelle sera distribuée uniformément sur la longueur AO et dirigée parallèlement à AB; mais la même arête AO recevra du berceau tronqué AOD une poussée horizontale d'égale intensité $Qr$, et dirigée parallèlement à AD. Conséquemment, on aura pour la poussée horizontale totale $t$ dans le sens d'une arête

$$t = Qr\sqrt{2}.$$

Connaissant le poids total MW de la voûte, d'où celui $\frac{MW}{4}$ que supporte chaque pilier, et la poussée horizontale $t$ appliquée au sommet du pilier, on fera facilement son établissement; on remarquera seulement qu'ici le pilier est sollicité suivant sa diagonale OM, et tend à se renverser en tournant autour d'une ligne ST, perpendiculaire à OM.

Dans le cas, assez rare du reste, où la voûte d'arête, au lieu de se projeter sur un espace carré, se projetterait sur un polygone régulier, on pourrait, en s'appuyant sur ce qui vient d'être dit, et tout aussi facilement que pour les arcs de cloître, trouver la poussée suivant chaque arête.

Quelle que soit la disposition d'une voûte d'arête, on voit toujours qu'elle n'exerce aucune poussée sur ses têtes, mais que la poussée de ses piliers ne saurait être annulée que par des tirants nécessairement visibles, et qu'il faudrait établir, soit d'une naissance à l'autre sur chaque tête, soit suivant la diagonale commune des deux piliers opposés. Cet inconvénient de ne point se prêter à des moyens de consolidation accessoires, et celui de reporter toute la charge de la voûte sur les pieds-droits isolés, font que les voûtes d'arête offrent peu d'avantages sous le rapport de l'économie, et ne sont guère usitées dans la pratique commune. Il y a exception, toutefois, en faveur des voûtes dites à *l'impériale*, lesquelles, construites très-légèrement, et d'ailleurs avec des briques à crochet et du plâtre, qui annullent presque absolument la poussée, déclinent l'un et l'autre des mouvements que l'on vient de signaler. On peut construire également ces sortes de voûtes avec des briques de Bourgogne ou des briquettes de $0^m,03$ d'épaisseur, posées avec du mortier de ciment de Vassy; la prise instantanée et la grande force de cohésion de ce mortier annulent presque entièrement la poussée.

## CHARPENTE.

**Principes de composition.** — Tout système de charpente est composé de pièces de bois droites ou courbes, ordinairement équarries à vives arêtes, rarement rondes, assemblées les unes aux autres sur quelques points seulement de leur longueur, de manière à former une sorte de réserve qui doit être invariable de forme.

La question de la composition d'une charpente se réduit donc, une fois son contour extérieur donné, à inventer un réseau satisfaisant à cette invariabilité de forme; ce problème peut recevoir une infinité de solutions plus ou moins avantageuses; mais on en diminue le nombre au moyen de certaines conditions, à savoir : que le système exige la moindre dépense possible; et que le plus grand nombre possible de pièces employées soient pressées ou tirées dans le sens des fibres.

**Pans de bois.** — Les pans de bois sont pour ainsi dire des *murailles en charpente*. On en distingue de deux espèces : les pans de bois extérieurs, qui correspondent aux murs principaux des édifices, et les pans de bois intérieurs, qui correspondent aux murs de refend et de cloison. Ces derniers se désignent souvent sous le nom de cloisons ou *pans de bois*.

**Pans de bois extérieurs.** — Ils se composent en général d'une *sablière basse* ou semelle *S* (*fig.* 31 et 32, *Pl. XIV*, et 33, *Pl. XV*), qui réunit au moyen d'assemblages à tenons et mortaises des montants verticaux ou *poteaux* P. Ceux-ci sont reliés à leur extrémité supérieure par une seconde sablière H, appelée *chapeau* ou *sommier*, dans laquelle ils s'assemblent aussi à tenons et mortaises. Des *guettes* ou *décharges* G, inclinées en sens contraire les unes à l'égard des autres, et assemblées également à tenons et mortaises dans les sablières et les chapeaux, empêchent le hiement de la charpente; elles doivent, comme toutes les autres pièces, être très-justes dans leurs abouts.

Entre les poteaux sont ménagés les *huis*, ou ouvertures pour les portes et les fenêtres. Ceux de ces poteaux qui marquent les côtés des huis sont appelés *poteaux d'huisserie ;* les autres sont simplement appelés *poteaux*, ou poteaux de *remplage*, c'est-à-dire de *remplissage*. Les autres pièces qui complètent l'encadrement des huis sont les *linteaux* L qui peuvent être droits ou légèrement cintrés, et les *appuis* V. Lorsque les fenêtres sont arrondies en plein cintre par le haut, comme celles du deuxième étage de la maison *fig.* 33, les pièces O qui sont la continuation des linteaux cintrés sont appelés *cintres*. Les petites pièces Y sont des *liens* qui concourent, avec les tenons et les mortaises des assemblages, à maintenir les cintres dans le plan du pan de bois et à les empêcher de changer de courbure.

Les espaces ou *trumeaux* compris entre les portes et les fenêtres sont remplis de diverses manières : lorsqu'ils sont trop larges pour qu'une simple guette puisse suffire à leur remplissage, on multiplie les poteaux de remplage, ou l'on incline les guettes, afin qu'elles

fassent arc-boutant avec plus de force ; on y assemble des fragments de poteaux K, appelés *tournisses*, ou d'autres guettes inclinées en sens contraire et qui forment ainsi des croix de Saint-André ; on fait aussi des croix de Saint-André doubles.

Les espaces compris sous les appuis ou au-dessus des linteaux sont remplis, quand cela est nécessaire, par de petits poteaux nommés *potelets* U.

Les pièces de bois qui se croisent pour former croix de Saint-André dans les pans de bois doivent être serrées et maintenues dans les entailles, soit par une broche de fer rivée des deux côtés, soit par une grosse cheville de bois sec et dur, coincée par les deux bouts, ou, ce qui vaut mieux, par un boulon à tête avec vis et écrou noyés dans le bois.

Les tournisses s'assemblent à *oulice*, ou à tenon et mortaise avec ou sans embrèvement. Souvent aussi on les assemble simplement à plat joint avec embrèvement, ou même sans embrèvement, on les fixe alors par des chevillettes en fer ; mais ces deux derniers modes d'assemblage ne peuvent être tolérés que lorsque les pièces n'ont d'autre but que de remplir l'intervalle entre les poteaux. Si elles étaient chargées verticalement, cet assemblage n'aurait plus, bien souvent, la solidité désirable.

Pour former une façade, on est souvent obligé de réunir solidement les uns aux autres plusieurs pans de bois construits comme nous venons de le décrire. On se sert pour cela de fortes pièces de bois C qui portent le nom de *poteaux corniers* ou *cormiers*, lorsqu'ils sont placés aux angles du bâtiment, et *poteaux de fond*, lorsqu'ils se trouvent dans l'espace intermédiaire ; on relie les sablières et les chapeaux à tous ces poteaux par des bandes ou des équerres en fer fortement clouées ou boulonnées

Tous les intervalles d'un pan de bois, même ceux qui se trouvent au-dessus des chapeaux ou sablières hautes, entre les abouts des solives des planchers M, sont ordinairement remplis par une maçonnerie en briques ou en moellons. Lorsque les bois doivent rester apparents, la maçonnerie de remplissage doit être proprement parementée ou crépie jusqu'à l'affleurement du bois, dont les faces et les arêtes ont été dressées avant de les assembler.

Quelquefois, on recouvre le tout, bois et maçonnerie, d'un enduit sur lequel on trace des profils de moulures ou des refends qui donnent alors à la construction l'apparence d'un ouvrage entièrement construit en pierres ; mais cette dernière méthode paraît inférieure à la précédente, parce que les bois, renfermés de toutes parts dans un enduit de plâtre ou de mortier, sont sujets à se pourrir plus vite. D'ailleurs lorsqu'on laisse les bois apparents, et qu'on les peint, afin de les conserver plus longtemps, de couleurs agréablement mariées avec les badigeons ou les peintures dont on recouvre les panneaux, ces constructions n'en sont que d'un effet plus pittoresque.

Les maçonneries de remplissage n'auraient aucune adhérence avec les pièces de bois et pourraient être facilement poussées hors de leurs cases, si l'on ne prenait quelques précautions pour les y fixer.

La meilleure manière d'y parvenir consiste à *rainer* ou *rueller* les faces des pièces de bois que la maçonnerie de remplissage doit joindre, c'est-à-dire à creuser dans ces faces une rainure angulaire A (*fig.* 34, *Pl. XIV*) dans laquelle on insère les abouts des pans en maçonnerie ; on la remplace souvent par une autre qui ne vaut pas autant, à beaucoup près, et qui consiste à larder les mêmes faces non rainées d'un rappointis qui s'engage dans les joints de la maçonnerie. Ces rappointis ont l'inconvénient de se rouiller, de se détruire très-vite et de laisser la maçonnerie sans liaison. Il vaut mieux, lorsqu'on ne veut pas se donner la peine de rainer ces pièces, clouer sur leurs arêtes de petites tringles *a*, *b* (*fig.* 35, *Pl. XIV*) qui forment un auget dont l'effet se rapproche de celui des rainures, et à l'usure duquel on peut, dans tous les cas, remédier sans devoir démolir la maçonnerie.

Pour les constructions grossières et légères, on remplace parfois la maçonnerie par un *torchis*, un *crépi sur lattes* ou un *revêtement en planches*.

Le torchis se compose de bâtons enveloppés de foin tordu en corde et enduits d'un mortier de terre grasse que l'on recouvre d'un enduit à la chaux ou en plâtre, ou même d'un simple badigeon, quand le torchis est sec. Les extrémités des bâtons sont engagées dans des rainures pratiquées à cet effet dans les joues des pièces de charpente.

Quand le crepi se fait sur lattes, on cloue ces lattes contre les pièces de la charpente et on applique le crépi par-dessus ; quelquefois ce crépissage est double, c'est-à-dire qu'il existe sur les deux faces du pan.

Les revêtements en planches se font de diverses manières ; quelquefois, comme dans les *fig.* 34, 35, 36, 37 et 38, *Pl. XV*, les planches sont assemblées dans des rainures ou des feuillures pratiquées dans les montants, et tantôt elles sont simplement clouées contre les pièces de la charpente ; elles s'assemblent elles-mêmes à plat-joint ou bien à rainures et languettes. Elles sont quelquefois placées verticalement, et d'autres fois dans une position horizontale ; dans ce dernier cas, elles sont fréquemment posées en recouvrement l'une sur l'autre.

Pour rendre plus chaud l'intérieur des bâtiments construits en pans de bois, on fait quelquefois aussi un double revêtement en planches, dont on peut laisser l'intervalle vide ou le remplir avec de la terre pilonnée, du sable, de la mousse, des feuilles sèches ou d'autres substances.

Ordinairement les pans de bois s'établissent sur un socle ou soubassement en maçonnerie ou sur des piliers de même espèce, comme on le voit dans les *fig.* 31, 32, *Pl. XIV*, et 33, *Pl. XV*. Lorsque l'écartement entre les points d'appui des premières sablières est fort grand, on est obligé d'y employer des poutres d'un fort équarrissage, fortifiées quelquefois par des *armatures* et qui portent le nom de *poitrails*. On décharge du reste ces poitrails par des combinaisons de pièces dont la *fig.* 33, *Pl. XV*, suffira pour donner une idée, et qu'on peut varier d'un grand nombre de manières.

**Pans de bois intérieurs.** — Les pans de bois intérieurs

faisant fonction de murs de refend ne diffèrent en aucun point, quant à leur construction, des pans de bois extérieurs ; seulement, on les fait ordinairement un peu plus fournis en pièces de charpente et d'une épaisseur moindre, afin de ménager l'espace et de leur procurer en même temps une force capable de supporter le poids des planchers qui s'appuyent sur eux. Quant aux cloisons qui n'ont d'autre objet que d'établir des séparations et qui n'ont pas à porter de planchers, on les fait souvent de montants très-espacés les uns des autres et dont on remplit l'intervalle de l'une ou l'autre des manières décrites précédemment.

**Grosseur des pièces employées dans les pans de bois.** — On détermine les équarrissages des pièces qui entrent dans un pan de bois d'après la connaissance de la résistance des espèces de bois dont elles sont formées et de l'effort qu'elles ont à supporter. Les maisons en pans de bois ont été fort en usage dans tout le cours du moyen âge, mais le danger des incendies et leur cherté relative les ont fait successivement abandonner. On ne les emploie plus que pour des constructions provisoires et qui exigent une grande rapidité d'exécution, ou pour former des cloisons intérieures, afin de ménager l'espace.

## SOUTIENS ISOLÉS.

Les soutiens isolés sont employés pour diminuer la portée des voûtes ou des planchers. Ce sont des prismes ou des cylindres d'une grosseur généralement petite relativement à leur longueur, et qui peuvent affecter un grand nombre de formes.

On appelle *poteaux* les soutiens isolés en bois. Ce sont des pièces ordinairement équarries, dressées debout et presque toujours d'un seul morceau, posant par le bas sur un socle ou dé en pierre (*fig.* 39, *Pl. XV*) suffisamment élevé au-dessus du sol pour les préserver de l'humidité; par le haut, ils s'assemblent tantôt à tenons et mortaises avec les poutres des planchers qu'ils supportent, tantôt ils sont simplement serrés contre elles sans y être assemblés; quelquefois encore ils s'assemblent à tenons et mortaises dans des sous-poutres taillées en forme de double console, et qu'on soutient en outre par des contre-fiches inclinées quand leur longueur le requiert. Les *fig.* 40 et 41, *Pl. XV*, montrent ces dernières dispositions; d'autres fois enfin, leur about, qui s'applique contre les poutres, est armé d'une plate forme ou d'un manchon en fonte (*fig.* 42, *Pl. XV*); la *fig.* 43, *Pl. XV*, en présente un nouvel exemple, et l'on pourrait y en ajouter beaucoup d'autres, la forme de ces armatures étant susceptible d'être variée d'un grand nombre de manières.

On donne le nom de *pilier, pilastre, pied-droit, colonne* et *colonnette* aux soutiens isolés en pierre ou en fonte. Pilier est le terme générique ; il prend le nom de pilastre quand il est carré et astreint aux proportions des ordres d'architecture; celui de pied-droit, lorsqu'étant de section rectangulaire, il reçoit les retombées de deux voûtes contiguës; celui de colonne, lorsqu'il est de section circulaire et astreint aux proportions des ordres; enfin celui de colon-

nette, quand le diamètre de la section circulaire est compris vingt à trente fois dans la longueur du fût ou corps de la colonne. Les piliers posent ordinairement sur une assise de pierre d'une plus grande section que celle qui leur est propre, et qui porte le nom de *dé*, de *socle* ou de base. A leur sommet, ils sont couronnés d'une assise de même espèce qu'on désigne en général sous le nom de chapiteau, mais à laquelle on donne aussi le nom d'imposte, lorsqu'elle reçoit la retombée des voûtes.

Les colonnes et les pilastres ne s'appuient pas toujours immédiatement sur le sol, leur base repose quelquefois sur une seconde base, nommée *piédestal,* et qui se compose, comme la colonne, de trois parties, savoir : d'un socle ou base qui en forme la première assise ; d'un dé qui en constitue le corps principal, et d'un chapiteau qui porte le nom de *corniche du piédestal ;* le socle et la corniche forment une saillie plus ou moins prononcée sur le dé et sont décorés de moulures.

Les piliers, les colonnes et les pilastres sont ordinairement construits en pierres de taille ; mais ils peuvent être aussi construits en fonte. Cette matière offre même, dans un grand nombre de cas, des avantages tout particuliers. Ces soutiens se coulent d'une seule pièce ou par tambours qui s'ajustent les uns sur les autres, à collet ou à manchon. Les plans de superposition et de juxtaposition des diverses assises ou tambours doivent, dans ce cas, être dressés sur le tour, de manière à obtenir sur tous les points un contact presque mathématique. Cela vaut beaucoup mieux que de se contenter des surfaces plus ou moins bien dressées qu'on obtient du moulage, sauf à couler du plomb dans les joints, ainsi qu'on le fait quelquefois. Le premier mode d'ajustage coûte peut-être un peu plus cher ; mais on obtient, en revanche, un degré de force et de stabilité incomparablement supérieur à ce qu'on peut attendre de l'autre mode de construction. On peut citer comme un véritable modèle d'ajustage de ce genre les quatre piliers de support des chaînes du pont suspendu de Seraing sur la Meuse.

La fonte ayant une grande résistance à l'écrasement, et pouvant être moulée sous les formes les plus variées, on peut souvent, en l'employant, remplacer un lourd pilier par une mince colonnette, élégamment décorée.

## PLANCHERS.

Les planchers sont des pans de charpente horizontaux qui partagent l'intérieur d'un bâtiment en étages et sont soutenus par ses murailles. Ils ont pour objet de porter les aires qui forment le sol artificiel sur lequel on marche. Ces aires sont ordinairement en planches, mais on les fait quelquefois aussi en maçonnerie, sans que l'ensemble de la construction cesse de porter le nom de plancher.

La charpente des planchers se compose de poutres, de poutrelles ou de solives en bois, en fonte ou en fer forgé, qui peuvent se combiner d'un grand nombre de manières, suivant l'écartement et la disposition des murs.

Nous distinguerons quatre espèces de planchers :

1°. Les planchers entièrement en bois ;

2°. Ceux en bois et maçonnerie ;

3°. Ceux en fer et maçonnerie ordinaire ;

4°. Ceux en fer et poteries.

Les planchers entièrement en bois offrent deux parties distinctes, susceptibles d'un grand nombre de combinaisons : la charpente et l'aire, appelées aussi *plancher de pied* ou *parquet.*

Nous rapporterons à trois catégories différentes les combinaisons de la charpente.

Dans l'une, nous ne trouvons que des *solives* ou *gîtes,* toutes de même équarrissage ou à peu près, et n'ayant d'autres supports que les murs ou les points d'appui qu'elles se prêtent mutuellement.

Dans la seconde, nous trouvons encore des solives ou gîtes, comme dans la précédente, mais elles prennent des points d'appui, non-seulement sur les murs et sur elles-mêmes, mais encore sur un système de *poutres* posant sur les murs longitudinaux et parallèles entre elles et aux murs transversaux. Ces poutres divisent ainsi l'espace en un certain nombre de rectangles plus ou moins allongés qui portent le nom de *travées.*

Enfin, dans la troisième catégorie, nous rencontrons des combinaisons de poutres et de solives assez semblables à celles de la catégorie précédente, mais qui en diffèrent en ce que les poutres ne sont plus parallèles entre elles et aux murs, et qu'elles forment même des assemblages plus ou moins compliqués. Ces planchers sont connus sous le nom de *planchers à compartiments, planchers d'enrayures* ou *d'assemblages.*

La *fig. 44, Pl. XVI,* représente divers arrangements de poutrelles ou de solives formant des charpentes de plancher sans autre support que les murs ou des pans de bois.

Dans le plancher A, les poutrelles portent sur des pans de bois. Dans le plancher B, elles sont encastrées des deux bouts dans des murs. Dans le plancher C, elles portent sur des lambourdes *d,* scellées dans les murs. Dans le plancher D, elles portent également sur des sablières ou lambourdes *g,* mais ces dernières ne sont pas logées dans les murs; elles sont posées sur des *corbeaux* saillants *f,* en bois, en pierre ou en fer, scellés dans les murs. Enfin dans le plancher E, un certain nombre seulement des solives sont scellées dans les murs. Ces solives *i* sont désignées sous le nom de *maîtresses solives.* Toutes les autres ne sont encastrées dans le mur que par une extrémité; par l'autre, elles sont assemblées dans des pièces *x, y,* appelées *linçoirs*, et assemblées elles-mêmes avec les maîtresses solives. Les solives qui s'assemblent avec les linçoirs sont dites *solives boiteuses ;* elles sont désignées par la lettre *k* dans la figure.

On peut à la rigueur n'employer dans la construction d'un plancher que des linçoirs et des solives boiteuses. Dans ce cas, les linçoirs sont assemblés dans des solives boiteuses au lieu de l'être dans des maîtresses solives.

Les planchers peuvent aussi n'être portés que par les scellements

des maîtresses solives entre lesquelles des *soliveaux* de remplissage sont assemblés, des deux bouts, dans des linçoirs.

On peut enfin construire un plancher en n'employant que des solives boiteuses, comme celui représenté *fig.* 45, *Pl. XVI*. Les solives *a* et *o* font des angles égaux, en sens inverse avec les murs. Celles marquées *a*, qui sont scellées par un bout dans le mur, sont assemblées par l'autre bout dans les solives *o*, qui, à leur tour, sont scellées par un bout dans le mur opposé, et assemblées par l'autre bout dans les solives *a*. Vu la petitesse de l'auge que les solives *a* et *o* font entre elles, leurs assemblages sont fort longs, et les mortaises les affaibliraient trop si on leur donnait la profondeur ordidaire des deux tiers de l'épaisseur du bois. On ne leur donne, ainsi qu'aux tenons, que le tiers de l'épaisseur horizontale des solives. Cette réduction de la dimension des tenons et mortaises ne permet pas de les cheviller; mais elle est compensée par la longueur des assemblages dont on consolide la tenue ou joint par deux petits boulons *v*, *x*.

**Planchers à la Serlio.** — Les *fig.* 46 et 47, *Pl. XV*, représentent divers exemples de planchers à la Serlio ; elles se comprendront à la seule inspection. Ces planchers demandent à être composés, en général, avec des solives très-étroites dans le sens horizontal et très-épaisses dans l'autre sens, afin qu'on puisse donner toute la force nécessaire aux assemblages, sans être obligé d'employer des moyens de liaison en métal, ce qui en augmenterait le prix. Le plancher doit se monter sur un échafaudage ou une espèce de cintre qu'on démolit lorsque toutes les pièces sont solidement assemblées, fixées et recouvertes de l'aire en planches fortement clouée ou chevillée.

**Planchers composés de poutres et de solives.** — La *fig.* 48, *Pl. XVI*, représente en projection horizontale deux planchers dont les solives parallèles portent, au moins d'un bout, sur des poutres.

En F, les solives *a* sont portées par un bout dans le pan de bois vertical MN qui forme l'extrémité ou le pignon d'un bâtiment ; de l'autre bout elles sont portées sur une poutre *b* qui trouve ses appuis dans les pans de bois MQ, NR. Les solives *c* portent d'un bout sur cette poutre *b*, de l'autre elles sont scellées dans les murs de refend QR.

Pour assurer aux charpentes des planchers d'un bâtiment en pans de bois la même invariabilité qu'aux autres parties de l'édifice, on établit dans les angles des planchers des goussets *g*, *g*, assemblés d'un bout dans les sous-sablières et de l'autre bout dans les solives *a*, boulonnées aux poteaux P.

Le remplissage des angles du plancher se fait au moyen de soliveaux *empanons d*.

En G, les solives du plancher sont établies par travées. Celles *f* de la première travée sont scellées dans le mur QR ; de l'autre bout, elles sont portées dans des entailles par la poutre *i*. Les solives *h* de la seconde travée et des suivantes portent uniquement sur des poutres, jusqu'à la dernière, qui pose, comme la première, d'un bout

sur la dernière poutre et de l'autre sur un mur. Ce plancher pourrait être continué indéfiniment.

Pour réunir dans la même figure différents modes de construction, les assemblages sont différents sur chaque poutre ; mais ordinairement on les fait de même espèce pour toutes les travées d'un même plancher. Sur la poutre *b*, les solives sont simplement posées bout à bout. Sur la poutre *i*, elles sont encastrées en tout ou en partie seulement, dans des entailles. Sur la poutre *k*, les solives posent sur deux lambourdes fixées contre les deux côtés de la poutre par des étriers ou des boulons. Enfin sur la poutre *e*, les solives sont posées enchevêtrées.

**Planchers à compartiments.** — Les combinaisons de poutres et de solives, au moyen desquelles on forme les planchers à *compartiments, d'assemblage* ou *d'enrayures*, peuvent être extrêmement variées; car elles dépendent non-seulement des dimensions des pièces de bois dont on peut disposer, mais encore de la forme de l'enceinte à planchéier.

La *fig.* 49, *Pl. XVI*, présente l'une des combinaisons les plus simples employées pour couvrir une salle carrée, dont elle fait voir le demi-plan. Dans chaque angle, un coyer *a*, placé diagonalement, porte, par ses deux abouts, dans le mur où il est scellé. Les scellements des coyers sont distribués de façon à diviser les côtés du carré en trois parties. Les coyers reçoivent l'assemblage des linçoirs *b*, parallèles aux murs. Ces linçoirs ont pour objet de soutenir les poutrelles jumelles *d, d, e, e,* qui se croisent à angle droit et s'assemblent à mi-bois au milieu du plancher, où elles sont serrées par quatre boulons. La queue carrée d'un bouton formant *cul-de-lampe* remplit l'espace libre que les poutrelles laissent au centre. Des goussets *g*, et des soliveaux et empanons *h, f*, forment les remplissages. La *fig*.50, *Pl. XVI*, est une coupe de ce plancher suivant la ligne DE.

Il faut observer que lorsqu'on fait le projet d'un plancher dans la composition duquel il entre des poutres, on doit prendre garde de ne pas les faire porter au-dessus des vides des portes ou des fenêtres, à moins de nécessité absolue, et en prenant alors toutes les précautions que la prudence commande.

**Enchevêtrures pour cheminées.** — Pour soustraire un plancher à l'action du feu entretenu dans les cheminées de l'étage où il est etabli, on dispose sa charpente de manière à laisser sous l'emplacement de chaque foyer un espace vide de bois qu'on remplit en maçonnerie dans l'épaisseur des solives.

L'encadrement qui limite cet espace vide est ce qu'on appelle une enchevêtrure. Elle se compose ordinairement d'un linçoir *x*, qui s'assemble dans deux solives dites d'enchevêtrure *i* (*fig*. 44, *Pl. XVI*), d'un équarrissage un peu plus fort que les autres, ou de deux chevêtres *s*, qui s'assemblent dans une solive d'enchevêtrure. Le linçoir ou les chevêtres servent de support à des solives boiteuses, quand c'est nécessaire.

Le remplissage en maçonnerie des enchevêtrures peut se faire de diverses manières ; le plus souvent, lorsque les solives ont une épaisseur suffisante, on peut construire une voussette en briques sur

laquelle on établit ensuite le pavé ou l'âtre du foyer. Il suffit que cette voussette ait un $\frac{1}{10}$ de flèche pour offrir toute la solidité désirable. Ou bien on peut porter le remplissage en maçonnerie sur quelques bandes de fer appelées bandes de trémies qui sont solidement clouées sur les bords de l'enchevêtrure.

**Planchers de pied.** — Nous avons réuni dans la *fig.* 51, *Pl. XVI*, différents genres de construction de planchers de pied. En A, on voit un plancher fait de planches ordinaires, telles que les fournit le commerce. Ces planches, sous le nom d'*ais*, sont blanchies au rabot, au moins sur leur face vue, et assemblées à rainures et languettes. Elles sont toutes clouées sur chaque solive avec deux ou trois clous disposés en rangée oblique. On tient généralement à employer toutes les planches de même dimension dans la construction d'un même plancher. On assemble les ais en liaison, ainsi qu'on le voit dans la figure, lorsque cela est nécessaire.

Au lieu d'ais ordinaires, on emploie pour les planchers soignés des planches refendues en deux dans le sens de leur largeur, qui portent le nom de *frises* ou d'*alaises*, mais les dispositions restent les mêmes ; seulement. on blanchit souvent les deux faces des planchers de cette sorte, de même que la face supérieure des solives, afin d'obtenir ainsi un plancher mieux dressé, et de n'être pas obligé à recourir à des ragréments ou des rabotages généraux qui sont presque toujours nécessaires, quand on ne prend pas ces précautions. Ce genre de plancher se voit en B.

En C, on a représenté un plancher de pied en *pied de Hongrie*, ou en *bâtons rompus*, et en D, un plancher en *arête de poisson* ou *à fougère*. Les alaises sont clouées diagonalement sur les solives dans l'un et l'autre de ces planchers, et la seule différence qui se remarque entre eux, c'est que dans l'un les alaises sont coupées carrément et sont assemblées en liaisons, tandis que dans l'autre elles offrent des coupes biaises dont l'ensemble forme un joint continu passant par l'axe longitudinal des solives.

On compose quelquefois les aires des planchers en bois de différentes espèces dont on combine la direction des fibres et les couleurs de diverses manières. On peut aussi, en n'employant qu'une seule espèce de bois, disposer les ais et les alaises de façon que, même dans les combinaisons les plus simples, les fibres du bois se trouvent dirigées dans des sens différents qui produisent une variété d'aspects propre à décorer les planchers.

Enfin, on revêt quelquefois la surface du plancher d'un placage en marqueterie, offrant des dessins plus ou moins compliqués, obtenus avec des bois fins de diverses couleurs. On trouve dans le commerce des placages de cette espèce tout préparés.

**Planchers en fer et maçonnerie.** — Ces planchers ressemblent le plus souvent aux planchers voûtés sur poutrelles. Toute la différence consiste en ce que les poutrelles en bois sont remplacées par des pièces de fonte, et en ce que, pour ménager le métal, on donne beaucoup plus de portée aux voûtes. Ce genre de construction a été notamment appliqué sur une grande échelle et avec

un plein succès. Les *fig.* 52 et 53, *Pl. XVII*, représentent le dessin coté de deux sortes de poutrelles en fonte. La plus forte des deux est destinée à porter un poids de 27000 kilogrammes, et la plus faible un poids de 12000 kilogrammes uniformément répartis ; la première a 0m,50 de hauteur au milieu, et la seconde a 0m,35. La portée des voûtes est généralement de 3m,30, et leur flèche ou montée de 0m,45. Elles sont formées d'un rouleau de briques boutisses, arasé de niveau avec de la maçonnerie de blocaille, et couvertes d'un carrelage. Cette description suffira pour donner une idée de toutes les constructions du même genre. Nous y ajouterons seulement qu'on a fait usage, dans quelques cas, de poutrelles offrant la section d'un Y renversé ou d'un T simple renversé et de quelques autres ; mais en général il est avantageux d'adopter la forme qui peut se mouler le plus aisément, et les T doubles ou simples paraissent, pour cette raison, préférables.

**Planchers en fer et poterie.** — Ces planchers sont employés sur une grande échelle dans les constructions parisiennes. La charpente des planchers en fer et poteries est entièrement composée de tirants, de fermettes ou même de fermes en fer forgé, reliés par des entretoises en fer, qui maintiennent leur écartement, et qui forment avec eux un réseau dont les intervalles sont remplis par des briques creuses, noyées presque jointivement dans une gangue de plâtre.

Les fermettes ont la forme représentée *fig.* 54, *Pl. XVII*. Elles se composent d'un arc dont les extrémités sont recourbées, soit à crochet, soit à scellement, soit à patte, selon qu'elles doivent se rattacher à des murs ou se fixer à des pièces de bois. L'arc est maintenu dans sa forme courbe par deux tringles morsées au fer même, boulonnées à leurs extrémités, et reliées dans leur milieu, avec l'arbalétrier, par une frette. Un étrillon ou poinçon, placé entre les lames verticales de la frette, et traversé lui-même par les boulons d'assemblage, s'oppose à la flexion de l'arc.

Les fermettes se placent sur les murs à 4 mètres environ les unes des autres. Dans l'intervalle qui les sépare, on place, à espacement régulier, deux tirants en fer, de même grosseur que celui des fermettes. Ces diverses pièces sont ensuite reliées transversalement par de légères bandes en fer qu'on nomme entretoises principales, et qu'à leur tour on recroise transversalement par d'autres entretoises appelées entretoises secondaires. Toutes ces pièces s'assemblent les unes aux autres au moyen de crochets, comme on le voit dans la *fig.* 55, *Pl. XVII*, qui montre en perspective une travée de plancher construite comme nous venons de le dire. AA sont deux fermettes, BB les tirants, CCC les entretoises principales et DDD les entretoises secondaires. Les carreaux formés par l'interstice de ces diverses pièces ont 0m,80 à 1 mètre de côté. Les poteries y sont maçonnées sur un cintre plat qu'on peut enlever aussitôt que le plâtre est pris. Comme la prise du plâtre est presque instantanée, il n'est besoin pour les salles même les plus vastes que d'un cintre de 1 à 2 mètres de longueur ; quand on l'a entièrement couvert, on peut le déplacer immédiatement, et le transporter en avant pour continuer le travail.

Le système de fermettes que nous avons décrit ne convient qu'à des salles de petite dimension. Lorsqu'il s'agit de vastes salles, on est obligé de les remplacer par des fermes dont la force est en rapport avec la charge qu'elles ont à supporter.

On peut encore remplacer les fermes par des poutrelles en fonte ou en tôle ; ces dernières ne sont autre chose que des tuyaux de section lenticulaire, formés de feuilles de tôle assemblées par des rivets et soutenues à l'intérieur par des diaphragmes.

## DES COMBLES ET DES FERMES EN BOIS.

Nous renvoyons pour les combles et les fermes en bois à la page 241 et suivantes du tome Ier de la *Partie théorique* de notre *Manuel de l'Ingénieur*. On trouvera également à la page 234 et suivantes du même volume la description des divers assemblages usités dans les travaux de charpente et de menuiserie que nous allons traiter ci-dessous.

**Fermes en métal.** — Toutes les combinaisons de pièces de bois employées dans les combles et dans les fermes peuvent être rereproduites en métal (fer ou fonte). Elles acquièrent ainsi une élégance toute particulière, à cause des moindres dimensions transversales qu'on peut donner à toutes les pièces de la charpente. La réunion des pièces métalliques se fait au moyen d'assemblages. Dans les combles métalliques les mieux combinés, la fonte est employée concurremment avec le fer malléable. Ce dernier est réservé pour les tirants ou entraits, et en général pour toutes les pièces qui ont des efforts d'extension à subir, tandis que la fonte est employée pour les pièces soumises à la compression ou à la flexion.

La *fig*. 56, *Pl. XVII*, est la représentation d'une ferme du comble en fer de la boulangerie militaire de Paris. La *fig*. 57, *Pl. XVII*, représente une ferme du comble en fer d'un des bâtiments de la station du chemin de fer de Londres à Birmingham, avec ses détails d'assemblage.

**Fermes mixtes.** — Un grand nombre de combles récemment construits sont formés de combinaisons dans lesquelles le bois, le fer et la fonte sont employés tout à la fois. Dans quelques-uns les tirants et les aiguilles pendantès seuls sont en fer forgé, tandis que tout le reste est en bois. Dans d'autres on n'a conservé en bois que les arbalétriers. Les faux entraits, les contre-fiches et toutes les pièces soumises à des efforts de compression sont en fonte, tandis que toutes celles qui tirent sont en fer (*fig*. 58, *Pl. XVII*). D'autres offrent, outre ces dispositions, des arbalétriers mi-partie en bois et mi-partie en fer : telles sont celles des hangars de la station de Douvres, du chemin de fer de Londres à cette dernière ville. La *fig*. 59, *Pl. XVII*, représente enfin un système de fermes en bois et fer, de l'invention du colonel Emy, dans lequel les arbalétriers sont tout à la fois armés et empêchés de pousser contre les murs, par le moyen de tringles en fer.

**Fermes suspendues.** — Dans la plupart des fermes, le tirant n'a d'autre fonction à remplir que d'empêcher le pied des arba-

létriers de s'écarter l'un de l'autre et de pousser contre les murs. On a quelquefois essayé de les faire servir en outre à supporter les arbalétriers, par une disposition analogue à celle employée dans certains ponts suspendus. Le tirant est formé par une poutre armée suivant le système de M. Laves. Le tirant peut être aussi un polygone funiculaire en fer. Ces dispositions, extrêmement simples et qui peuvent s'appliquer à de très-grandes portées, ont l'inconvénient de diminuer la hauteur de l'espace compris sous l'entrait, et en second lieu de ne pas donner aux fermes une aussi grande rigidité que les autres. Un des plus beaux exemples de l'emploi des fermes de cette espèce, est le comble du Panorama des Champs-Elysées à Paris, démoli par suite de la construction du palais de l'Industrie.

**Cours de pannes et faîtages.** — Les cours de pannes et les faîtages, outre qu'ils servent, comme nous l'avons dit, à supporporter le chevronnage du comble, maintiennent le parallélisme des fermes sur lesquelles ils sont assemblés. Les assemblages des cours de pannes ou fermes sont fort simples, et les *fig.* 60, 61 et 62, *Pl. XVII*, les représentent. Dans la *fig.* 60, A est le profil transversal d'un mur de pannes ; B, l'arbalétrier de la ferme sur lequel il est posé ; C, un patin de bois nommé *tasseau* ou *chantignole*, cloué sur l'arbalétrier et qui empêche le cours de pannes de glisser suivant la pente du toit. Cet assemblage est suffisamment solide, attendu que le cours de pannes est encore fixé dans sa position par les chevrons qui y sont cloués. Néanmoins, quelques constructeurs le fortifient encore par un petit enclavement marqué en pointillé.

Ce mode d'assemblage est celui qu'on emploie le plus communément. Cependant on profite assez fréquemment du prolongement des entraits retroussés, des aiguilles ou des moises pendantes pour supprimer les chantignoles en tout ou en partie. Enfin on entaille quelquefois les cours de pannes à la rencontre des arbalétriers, de maniere à les embrasser de la même façon que les liernes embrassent les solives des planchers, et l'on place, dans ce cas, les chantignoles sur le côté des arbalétriers.

Le faîte se pose quelquefois dans une bifurcation formée par les prolongements des arbalétriers. Ses faces se trouvent dans le même plan que celles des cours de pannes ; mais plus souvent il s'assemble à tenon et mortaise dans les poinçons des fermes ; il présente dans ce dernier cas deux pans en chanfrein à sa partie supérieure, situés exactement dans le même plan que les faces supérieures des cours de pannes. En Angleterre, on observe une autre disposition qui nous paraît préférable : le faîte consiste dans un madrier méplat qui s'assemble dans un enfourchement pratiqué au sommet du poinçon. Cette pièce, sous un petit volume, présente une aussi grande résistance à la flexion dans le sens vertical, et comme elle est contrebutée de droite et de gauche par les chevrons, elle ne saurait non plus fléchir ou se tordre latéralement.

Dans les fermes métalliques, les assemblages dont nous venons de parler se font ordinairement au moyen de boîtes fixées contre les arbalétriers et dans lesquelles on introduit les abouts des pièces qu'on y arrête ensuite par des goupilles ou des boulons.

Lorsque les cours de pannes et des faîtes sont fractionnés en plusieurs morceaux, et qu'ils ne sont pas reliés par des boîtes métalliques, ainsi que nous venons de le dire, leurs diverses fractions s'assemblent entre elles, soit à plat-joint, soit à trait de Jupiter, en observant de faire tomber les assemblages sur les arbalétriers. On ancre assez souvent leurs extrémités dans les pignons des bâtiments de la même manière que les poutres des planchers ; dans ce cas, et lorsque la construction a beaucoup à fatiguer, on consolide les entures longitudinales par des bandelettes en fer.

**Ouvertures dans les combles.** — Ordinairement les combles sont traversés par des souches de cheminées et percés de lucarnes ou de lanternaux qui servent à les éclairer. Ces percées se font le plus souvent dans les intervalles compris entre les fermes, c'est-à-dire au travers du chevronnage. Quelles que soient la grandeur et la figure des ouvertures de ce genre, elles sont formées par un encadrement compris entre deux chevrons auxquels on donne plus de force qu'aux autres, à cause des assemblages qu'ils doivent recevoir et du surcroît de fatigue auquel ils sont exposés. Ces chevrons forment deux des côtés de l'ouverture, les autres côtés sont formés par des entretoises ou linçoirs qui s'assemblent avec eux et qui reçoivent eux-mêmes l'assemblage de l'extrémité des chevrons compris dans l'intervalle.

**Moyens d'écoulement.** — Une chose à laquelle on ne saurait prendre trop d'attention, en construisant un comble, c'est de ménager des moyens d'écoulement faciles et prompts pour les eaux pluviales qui s'y rassemblent. A cet effet, les chéneaux qui les reçoivent doivent offrir des pentes suffisantes pour qu'elles soient attirées vers un certain nombre de points bas, occupés par des gargouilles qui dégorgent dans des tuyaux de descente. La pente des chéneaux doit être de 4 à 5 millimètres par mètre de longueur. Quant ils n'ont qu'une petite longueur on ne fait ordinairement qu'une seule pente, aboutissant à un seul tuyau de décharge. Mais quand ils sont fort longs, on fait plusieurs pentes et contre-pentes, au pied desquelles on place les tuyaux. La section de ces derniers doit être suffisante pour donner passage à toute l'eau qui y arrive pendant les plus fortes averses. Sans cela, elle s'accumule bientôt dans les chéneaux, et débordant au-dessus, elle peut causer des avaries. Il faut considérer d'ailleurs, que des saletés déposées sur les toits et entraînées par les eaux, peuvent les obstruer en partie, et c'est ce qui fait qu'il est bon de leur donner une section plus forte que celle qui serait suffisante à la rigueur. On leur donne rarement moins de 5 à 6 centimètres de diamètre et quelquefois beaucoup plus Cela dépend de l'étendue de la surface de toiture qu'ils ont à desservir.

## MENUISERIE.

Parmi les principaux ouvrages en menuiserie qui complètent la construction d'un édifice, on doit principalement ranger : les portes, les volets, les fenêtres, les persiennes, les lambris, les cloisons légères,

On distingue sous le rapport du mode de construction trois espèces

de portes : les portes sur *barres ;* les portes sur *châssis* et les portes à *panneaux ;* sous le rapport de leur disposition, on les divise en portes à un seul *ouvrant, battant* ou *vantail,* portes *battantes* et portes *roulantes.*

**Portes sur barres.** — La première espèce est composée d'un panneau de planches ou de madriers A (*fig.* 63, *Pl. XVII*), assemblés entre eux à rainures et languettes ou autrement, et cloués sur un système de barres transversales B, espacées entre elles de 0$^m$,80 au plus et de 0$^m$,50 au moins. La force des planches et des barres doit être proportionnée à la résistance qu'on attend de la porte. Pour les constructions légères on fait ordinairement le revêtement en planches de 25 millimètres d'épaisseur, et l'on donne à l'équarrissage des traverses 4 sur 10 à 12 centimètres. Pour les constructions plus solides on donne 3 à 4 centimètres d'épaisseur au revêtement, et aux barres 5 à 6 sur 12 à 15 centimètres d'équarrissage. Ces dernières sont toujours posées à plat contre le revêtement, et celui-ci est cloué ou chevillé contre elles. Lorsqu'il est cloué, les clous doivent avoir en longueur au moins le double de l'épaisseur du revêtement. On enfonce parfois leurs têtes dans le bois au chasse-clou, puis on remplit le vide avec un petit tampon de bois : on obtient ainsi un ouvrage plus propre. Lorsque le revêtement est chevillé, les chevilles doivent, pour bien faire, traverser le revêtement et les barres de part en part, et être coincées par les deux bouts. Ce mode de construction est de rigueur dans l'intérieur des magasins à poudre, à moins qu'on ne fasse usage de clous en cuivre ou en zinc. Les barres sont ordinairement chanfreinées sur tout leur pourtour. Cela leur donne un meilleur aspect et en même temps diminue les chances de dégradation.

**Portes sur châssis.** — La seconde espèce se compose d'un panneau en planches ou en madriers, fixé sur un châssis ou bâti en charpente formé de montants verticaux, de traverses horizontales et quelquefois d'écharpes en diagonale. Les *fig.* 64 et 67, *Pl. XVII,* et les *fig.* 65 et 66, *Pl. XVIII,* montrent les détails des portes de cette espèce. Les *fig.* 64, *Pl. XVII,* et 66, *Pl. XVIII,* font voir les portes du côté du bâti. AA sont les montants verticaux ; BBB les traverses horizontales assemblées avec les montants à tenons et mortaises ; CC les écharpes. Ces diverses pièces sont ordinairement chanfreinées ou ornées de moulures sur leur arêtes vues, et ces chanfreins ou moulures sont raccordés par des coups en onglet, ainsi qu'on le voit dans la *fig.* 67, *Pl. XVII.* Les coupes donnent plus de solidité aux tenons en même temps que plus de propreté aux assemblages. Le revêtement est ordinairement formé d'un simple panneau en planches ou en madriers assemblés à rainures et languettes, cloué ou chevillé, comme on l'a expliqué plus haut. Mais quelquefois les planches ou les madriers sont assemblés et cloués en diagonale sur le bâti, pour donner plus de solidité à la construction. Les planches du revêtement s'opposent alors efficacement au hiement des pièces du châssis. On incline les joints vers le poteau tourillon de la porte, c'est-à-dire celui qui porte les pentures. Les écharpes se placent également dans le même sens. L'épaisseur et l'équarrissage des di-

verses pièces des portes de cette espèce sont assez variables. Pour les petites portes ordinaires de 1 mètre à $1^m,30$ de large sur 2 mètres de haut, on donne fréquemment 25 millimètres d'épaisseur au revêtement, et 4 à 5 sur 11 à 12 centimètres d'équarrissage aux pièces du bâti. Pour les portes plus solides de mêmes dimensions ou à peu près, on donne 3 à 4 centimètres d'épaisseur au revêtement et 5 à 6 sur 12 à 15 centimètres d'équarrissage aux pièces du bâti. Pour les portes cochères des maisons d'habitation, l'épaisseur des pièces du bâti se proportionne à la hauteur des battants ; on leur donne généralement $0^m,025$ à raison de chaque mètre de hauteur, ainsi $0^m,10$ pour une porte de 4 mètres, $0^m,125$ pour une porte de 5 mètres et ainsi de suite. Quant à la largeur desdites pièces, elle varie selon leur position et les cas ; mais elle ne saurait être moindre que leur épaisseur, et elle en a souvent les $\frac{3}{2}$ ou le double. Les revêtements de ces portes ont rarement moins de 4 centimètres.

La construction que nous venons de faire connaître peut se modifier de la manière indiquée *fig.* 65 et 66, *Pl. XVIII*, où l'on voit que le revêtement, au lieu d'être cloué sur la face extérieure du châssis, se trouve fixé dans des battées faites sur les arêtes des pièces qui le composent. La profondeur de ces battées est alors telle que le revêtement effleure avec la surface extérieure des pièces qui forment le contour du châssis.

Quelquefois les portes sont terminées en rond à leur partie supérieure. Leur construction reste la même, sauf que le châssis est complété par une pièce courbe qui s'assemble dans les montants. Les *fig.* 65 et 66, *Pl. XVIII*, montrent des portes de cette espèce.

**Portes à panneaux.** — Les portes à panneaux (*fig.* 68, *Pl. XVIII*) se composent d'un châssis construit d'une manière semblable à celui ci-dessus, et de panneaux en planches et madriers. Les panneaux, au lieu de couvrir toute la surface du châssis, comme dans l'espèce précédente, ont seulement la grandeur nécessaire pour remplir les divers compartiments formés par les montants et les traverses. Ils sont assemblés par des rainures pratiquées dans le champ des pièces du châssis, ainsi qu'on le voit dans les *fig.* 69, 70 et 71, *Pl. XVIII*, qui sont des coupes faites sur une grande échelle. Les panneaux sont ordinairement formés de morceaux de planches ou de madriers, rabotés sur les deux faces et assemblés entre eux à la colle et à rainures et languettes.

Les encadrements des panneaux sont souvent ornés de moulures tirées sur le chanfrein des pièces du cadre, comme dans la *fig.* 69, ou appliquées contre leurs bords comme dans les *fig.* 70 et 71. Les portes sont dites à petit cadre dans le premier cas, et à grand cadre dans le second. Les panneaux peuvent être eux-mêmes ornés de saillies et de moulures.

On fait actuellement usage, pour les portes cochères et les portes bâtardes des constructions civiles, de panneaux en fonte très-historiés, c'est-à-dire ornés de dessins très-compliqués. Quelquefois on remplace les panneaux en bois par des panneaux en glace, en verre transparent, coloré, cannelé ou dépoli. Les traverses dans lesquelles

s'assemblent ces panneaux de verre prennent alors des dimensions beaucoup moindres que d'ordinaire, et se combinent de manière à former des dessins variés. Ces portes, désignées sous le nom de portes vitrées, portes fenêtres, ou portes croisées, s'emploient surtout à l'intérieur des maisons d'habitation, pour éclairer des pièces qui ne reçoivent pas directement le jour de l'extérieur, ou qui ne peuvent recevoir de jour que par ces portes, comme les corridors, les vestibules, etc. Leur construction a une grande analogie avec celle des croisées dont nous parlerons plus loin.

Quel que soit le mode de construction d'une porte, on doit s'attacher à n'y employer que des bois parfaitement secs. Les portes à panneaux surtout demandent que cette condition soit rigoureusement observée; sans cela les panneaux se déjettent, se retirent et se fendent.

**Portes à un seul ouvrant et portes roulantes.** — Les descriptions que nous avons données ci-dessus font connaître complétement la construction des portes battantes et des portes roulantes, sauf la disposition des ferrures dont nous parlerons plus loin. Mais les portes battantes offrent encore quelques autres détails qu'il est bon de consigner ici.

**Portes battantes.** — Ces portes sont toujours construites sur châssis. Les deux battants ou vantaux qui les composent sont exactement de même construction que ceux des autres portes. Ce qu'on y remarque de particulier, c'est que les montants de rive sont taillés de manière à fermer aussi hermétiquement que possible le joint qui se trouve entre eux. On peut faire cet assemblage de diverses manières; le plus souvent on se contente de tailler les montants de rive un peu obliquement, et de clouer sur l'un des battants à l'extérieur et sur l'autre à l'intérieur une latte légèrement saillante et quelquefois ornée de moulures qu'on appelle un couvre-joint.

Les battants des portes, simples ou doubles, se suspendent quelquefois à la menuiserie qui garnit les embrasements des baies, ou aux pierres qui en forment l'encadrement. D'autres fois elles sont suspendues à un châssis dormant, sorte d'encadrement fermé de madriers, tenons et mortaises, qui se fixe solidement et à demeure dans l'intérieur de la baie. Cet encadrement est formé de deux montants et d'une traverse qui les réunit par le haut. Lorsque la porte est à deux battants, chaque montant offre sur son champ une petite rainure dans laquelle s'engage, lorsque la porte est fermée, une languette appelée *noix*, qu'on réserve sur le champ du montant de la porte auquel sont attachées les pentures. Cette languette ferme ainsi tout accès au vent et à la pluie. Lorsque la porte est à un seul vantail, un seul montant du dormant porte une rainure, l'autre est taillé légèrement obliquement ou en battée, pour recevoir le montant de rive de la porte. Ce dernier montant est assez souvent garni d'un couvre-joint.

Les châssis dormants, comme celui que nous venons de décrire, sont parfois surmontés de quelques carreaux vitrés dont l'ensemble est désigné sous le nom d'abat-jour. Cette disposition sert à éclairer des corridors ou des cabinets intérieurs qui ne sauraient recevoir le

jour autrement. On place souvent des abat-jour cintrés ou rectangulaires au-dessus des portes donnant sur la rue, même lorsque les battants sont directement appendus aux jambages. La construction de ces abat-jour est exactement la même que celle des fenêtres dormantes dont nous parlerons plus loin.

**Guichets.** — L'on pratique quelquefois au travers des grandes portes des ouvertures de diverses dimensions qu'on ferme par une petite porte particulière qui a le nom de guichet. La construction des guichets n'offre rien de particulier, mais ils apportent quelques modifications dans l'ensemble des pièces qui composent le châssis de la porte principale. Les *fig.* 65 et 66, *Pl. XVIII*, qui représentent le dessin d'une porte avec guichet, feront comprendre par leur seule inspection de quelle nature sont ces modifications.

**Volets.** — La construction des volets a une grande ressemblance avec celle des portes. Ce ne sont même, à vrai dire, fort souvent que de petites portes à un ou à deux vantaux, construites de l'une ou de l'autre des trois manières que nous avons décrites plus haut. Seulement on fait la charpente un peu plus légère. Il y a toutefois une espèce de volets dont on fait grand usage dans les constructions civiles, qui présente une disposition qu'on n'emploie pas dans les portes, bien qu'elle soit susceptible d'y être appliquée. Ces volets sont formés d'un plus ou moins grand nombre de vantaux étroits, réunis les uns aux autres par des charnières, et pouvant se plier et se déplier de la même manière que les paravents qu'on place dans l'intérieur des appartements. Les charnières se mettent à cet effet alternativement à l'intérieur et à l'extérieur des vantaux. Ces volets sont connus sous le nom de *volets brisés.*

**Persiennes.** — La construction des persiennes ressemble aussi à celle des portes à panneaux; leur pièce principale est un châssis composé de deux montants et de trois ou quatre traverses horizontales, assemblés entre eux en tenons et mortaises. Les jours de ces châssis sont remplis par de petites planchettes inclinées à 45 degrés assemblés à encastrement dans les côtés du chassis, de manière à ce qu'aucun rayon visuel horizontal ou plongeant ne puisse pénétrer à l'intérieur des appartements. Quelquefois l'ensemble de ces planchettes, au lieu d'être fixe, est susceptible de recevoir diverses inclinaisons au moyen d'un petit mécanisme.

**Fenêtres et croisées.** — On divise les fenêtres en deux catégories: les fenêtres dormantes ou fixes et les fenêtres mobiles. Ces dernières sont d'un emploi beaucoup plus fréquent que les autres, et d'une construction plus compliquée.

**Fenêtres dormantes.** — Une fenêtre dormante se compose d'abord d'un encadrement ou d'un châssis dans la composition duquel il entre au moins deux montants, une traverse supérieure et une traverse inférieure. Quelquefois, lorsque les fenêtres sont de grandes dimensions, on ajoute un ou plusieurs montants ou traverses intermédiaires. Toutes ces pièces sont assemblées entre elles à tenons et mortaises avec coupes en onglet. Les espaces rectangulaires entre ces différentes pièces sont remplis par un système de petits montants et de petites traverses qui portent le nom de croisillons ou de petits

bois, et qui divisent ainsi ces espaces en carreaux de diverses grandeurs qu'on remplit avec des verres à vitres ou des glaces de petite dimension. Les assemblages des croisillons entre eux et avec les pièces du cadre se font à tenon avec recouvrement en onglet double. Les pièces du châssis ainsi que les croisillons portent des feuillures dans lesquelles on pose les vitres. Elles sont en outre décorées de moulures.

L'équarrissage de toutes les pièces qui entrent dans la composition des croisées est variable ; il dépend de la grandeur de la fenêtre et du degré de solidité qu'on veut lui donner. En général, on adopte les dimensions suivantes : Pièces du châssis, $0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur sur $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur ; croisillons $0^m,03$ et $0^m,04$ d'équarrissage.

Les fenêtres ne sont pas toujours rectangulaires : il y en a de cintrées par le haut, d'ovales ou de rondes ; mais leur construction se fait toujours d'une manière analogue ; il n'y a guère de différence que dans la forme du châssis. Les petits bois eux-mêmes n'offrent pas toujours des dispositions aussi simples que celles que nous avons décrites plus haut ; on les combine parfois de manière à former des étoiles, des losanges ou des dessins variés ; mais quelles que soient ces dispositions, les assemblages se font toujours de la même manière.

**Fenêtres mobiles.** — On appelle fenêtres mobiles celles qui peuvent s'ouvrir ou se fermer à volonté, et l'on en distingue de plusieurs espèces. Les principales sont : les fenêtres à un seul ouvrant, les fenêtres à deux ouvrants, les fenêtres basculantes, les fenêtres en tabatière, les fenêtres pivotantes, les fenêtres roulantes et les fenêtres soulevantes, dites aussi fenêtres à la guillotine.

**Fenêtres à un seul ouvrant.** — Ordinairement on ne construit de cette manière que les fenêtres dont les dimensions hors d'œuvre ne dépassent pas 1 mètre de hauteur sur $0^m,80$ de largeur. Elles sont formées d'un châssis dormant qui se fixe dans l'embrasement de la fenêtre, et d'un battant mobile que l'on suspend au moyen de pentures ou de fiches au châssis dormant. La construction du châssis dormant comprend deux montants et deux traverses assemblés à tenons et mortaises. Les montants et la traverse supérieure ont rarement plus de $0^m,04$ sur $0^m,10$ d'équarrissage ; mais la traverse inférieure offre assez souvent de plus fortes dimensions, et elle est taillée de façon à faciliter l'écoulement des eaux pluviales. La *fig.* 72, *Pl. XVIII*, fait voir la coupe transversale de cette traverse, et montre en même temps comment elle engrène avec la traverse du dormant. Tout le pourtour intérieur de ce châssis porte une feuillure ou battée contre laquelle viennent s'appliquer les pièces de l'encadrement du battant mobile dont nous allons parler. Cette battée a pour objet principal d'empêcher les eaux pluviales chassées par le vent de pénétrer dans les appartements. Du côté où le battant mobile est appendu au châssis dormant, cette feuillure est quelquefois complétée par une rainure en quart de cercle, destinée à recevoir une *noix* de même forme qu'on réserve sur le battant mobile. Le battant mobile est composé d'une manière en tout semblable à la fenêtre

dormante dont nous avons donné la description ci-dessus ; seulement le pourtour de son encadrement présente en saillie tous les ressauts que le dormant offre en creux.

**Fenêtres à deux ouvrants.** — Ces fenêtres conviennent aux baies de $1^m,50$ à $2^m,50$ de hauteur sur $0^m,80$ à $1^m,25$ de largeur. Leur construction est un peu plus compliquée que celle des précédentes. Mais il est facile d'en donner une idée en peu de mots, après ce que nous avons déjà dit. Les pièces qui la composent sont un châssis dormant et deux battants mobiles. Le châssis dormant est constitué exactement de la même manière que précédemment ; seulement pour diminuer la hauteur des battants mobiles, lorsque celle de la fenêtre dépasse $1^m,50$ à $1^m,80$, on place aux $\frac{3}{4}$ de sa hauteur, à peu près, une traverse horizontale qui porte le nom d'imposte, et l'on divise l'intervalle compris entre les montants, l'imposte et la traverse supérieure, en deux parties égales par une traverse verticale, dont la largeur est souvent égale à celle des deux montants de rive des battants mobiles réunis. L'imposte et cette traverse sont assemblées aux pièces du dormant à tenon et mortaise, avec encastrements et coupes en onglet.

Les battants mobiles sont exactement de même construction que celui dont il a été question ci-dessus, seulement leurs battants de rive sont disposés de manière à ce que le vent et la pluie ne puissent s'introduire par le joint. Les *fig.* 73, 74, 75, 76 et 77, *Pl. XVIII*, donnent des exemples de celles de ces diverses dispositions qui sont les plus usitées. Les battants mobiles sont suspendus au moyen de pentures ou de fiches aux montants du châssis dormant.

**Fenêtres basculantes.** — Les fenêtres basculantes sont d'une construction analogue aux précédentes. Elles se composent comme elles d'un châssis dormant, fermé parfois d'un simple encadrement et d'autres fois d'un encadrement complété par un système de traverses et de croisillons formant une portion de fenêtre fixe, et d'un battant mobile susceptible de basculer autour d'un axe horizontal. Le pourtour de ce battant, ainsi que celui de la partie du dormant qui le reçoit, offre des feuillures de la forme la plus convenable pour s'opposer à l'introduction du vent et de la pluie.

**Fenêtres en tabatière.** — Les fenêtres de cette espèce sont d'une construction semblable à celle des fenêtres basculantes, à quelques légères différences près dans la forme et la disposition des feuillures.

Le battant mobile est fixé à la charnière par la traverse inférieure ou supérieure, et se manœuvre en s'ouvrant de haut en bas ou de bas en haut au moyen de divers mécanismes.

**Fenêtres pivotantes.** — La fenêtre pivotante n'est qu'une fenêtre basculante à laquelle on a fait faire un quart de conversion. L'axe de rotation est vertical au lieu d'être horizontal ; mais, à cela près, toutes les autres dispositions restent à très-peu près les mêmes.

**Fenêtres roulantes ou glissantes.** — Les fenêtres roulantes se composent quelquefois d'un châssis dormant contre lequel

s'applique un châssis mobile. Ce dernier peut glisser dans des coulisses horizontales, et démasquer ainsi le cadre du châssis dormant en tout ou en partie. On facilite la manœuvre au moyen de roulettes qu'on place à la partie inférieure du châssis mobile et qui roulent sur le fond de la coulisse. On garnit parfois cette dernière d'une bande de fer polie. Quelquefois les fenêtres de cette espèce sont composées de deux châssis mobiles, qui peuvent se mouvoir de la manière qui vient d'être décrite.

**Fenêtres soulevantes.** — L'usage de ces fenêtres est aujourd'hui à peu près abandonné, à cause des dangers très-réels qu'elles présentent. Leur construction est la même que celle de l'espèce précédente; toute la différence consiste en ce que le châssis mobile glisse dans des coulisses verticales au lieu de coulisses horizontales. Pour ouvrir la fenêtre, on soulève le chassis mobile de bas en haut, et on le maintient à la hauteur qu'on désire au moyen d'une broche fixée dans le dormant. On peut rendre la manœuvre du châssis mobile plus aisée en employant des contre-poids qui peuvent être cachés dans la muraille ou dans la menuiserie qui garnit l'embrasement.

**Menuiserie des embrasements des portes et des croisées.** — Les embrasements des portes intérieures sont ordinairement garnis d'un placage en menuiserie qui consiste 1° en un encadrement formé de planches assemblées à rainures et languettes, et fixé contre les joues de l'embrasement. L'on pratique dans cet encadrement une battée, de 1 à 2 centimètres de saillie contre laquelle s'arrêtent les battants. Cette battée est indiquée en A dans la *fig.* 78, *Pl. XVIII*. En deux autres encadrements qui s'appliquent contre les bords du précédent B. Ces derniers portent le nom de chambranles. Ils sont ordinairement décorés de moulures. Les pièces de ce revêtement se clouent les unes contre les autres, et, en outre, contre les tasseaux qu'on a soin de fixer dans les embrasements, en élevant les murs. Les embrasements des fenêtres se garnissent quelquefois d'une manière analogue à l'intérieur.

On se sert le plus souvent pour ces divers ouvrages de planches de 25 millimètres d'épaisseur. Lorsque les murs sont très-épais et les embrasements fort profonds, on forme quelquefois leur revêtement intérieur avec des panneaux assemblés à rainures et languettes dans un châssis composé de deux montants et de traverses, et d'une construction tout à fait semblable à celle des portes à panneaux.

**Lambris.** — Les lambris sont des placages en menuiserie dont on revêt parfois les murs. Leur construction est tout à fait pareille à celle des portes à panneaux, c'est-à-dire qu'ils sont composés, en général, d'un bâti formé de montants et de traverses assemblés à tenons et mortaises, dans les jours duquel les panneaux sont assemblés à rainures et languettes. Toutes ces pièces sont parfois décorées de moulures plus ou moins compliquées, creusées dans leur épaisseur ou rapportées comme on l'a dit plus haut. Les montants et les traverses sont aussi distribués d'une manière symétrique et régulière, de façon à former des compartiments d'un dessin agréable à l'œil.

On appelle lambris de hauteur ceux qui règnent sur toute la hauteur de la muraille. Leur usage, très-répandu autrefois, est aujourd'hui très-restreint. On leur a substitué presque partout les tentures en papier, qui sont beaucoup moins dispendieuses et plus élégantes. On appelle lambris d'appui ceux qui s'arrêtent à hauteur des appuis de fenêtres. On en fait encore usage assez fréquemment, mais on se contente pourtant le plus souvent de garnir le pied des murs d'une simple planche posée de champ et formant plinthe tout autour des appartements. Cette planche est fixée au mur par des crampons à tête plate, espacés de 50 à 60 centimètres.

Les lambris de hauteur sont souvent terminés par le haut par une corniche plus ou moins saillante et ouvragée. Cet ouvrage se présentant à faire dans plusieurs autres cas, comme dans les garnitures des armoires réservées dans l'épaisseur des murs, les chambranles des portes très-ornées, les garnitures d'alcôve, etc., nous dirons ici un mot de leur construction. Ces corniches ne sont pas pleines comme celles que l'on fait en pierre. Elles sont formées d'un assemblage de planches ornées de moulures, et disposées de manière à présenter au dehors l'aspect d'une corniche pleine. La *fig.* 79, *Pl. XVIII*, fera mieux comprendre qu'une plus longue explication ces dispositions qui peuvent être variées de mille manières.

**Cloisons légères.** — Les cloisons légères sont d'une construction exactement identique avec celle des lambris. Elles n'offrent d'autre différence, qu'en ce qu'étant isolées, elles doivent offrir deux belles faces, c'est-à-dire être aussi bien travaillées d'un côté que de l'autre, tandis que les lambris appliqués contre les murs n'ont besoin que d'être ouvragés d'un seul côté.

## SERRURERIE.

Les ouvrages accessoires de serrurerie consistent dans les pentures, serrures et autres moyens de fermeture des portes et fenêtres; dans les croisées en fer et en fonte; dans les grilles et les barrières.

**Pentures.** — Ces ferrures sont d'une forme très-variable, et qui dépend en partie de la manière dont la porte est placée et doit s'ouvrir.

Les plus simples sont de la forme représentée *fig.* 80, *Pl. XVIII*. Elle se composent d'une barre de fer méplat, recourbée en œillet à l'une de ses extrémités, et percée de quelques trous. Les pentures de cette espèce se fixent ordinairement sur les pièces du bâtis de la porte au moyen de deux boulonnets et de quelques clous ou vis. Leur œillet s'engage dans un gond (*fig.* 81, *Pl. XVIII*) fixé au moyen d'un scellement ou d'une pointe barbelée dans l'encadrement en pierre ou en bois de la porte.

On modifie souvent ces pentures de la manière indiquée par les *fig.* 82 et 83, *Pl. XVIII*. Elles forment alors en même temps une équerre qui sert à fortifier les assemblages du bâtis de la porte.

On varie encore cette dernière disposition de la manière indiquée *fig.* 84, *Pl. XVIII*. La penture, au lieu d'être terminée par un œillet, offre un pivot arrondi qui s'engage dans un collier scellé

dans l'encadrement de la porte ou dans une crapaudine. Tout en conservant cette dernière disposition, on supprime parfois la branche horizontale de l'équerre, et la ferrure a alors la forme représentée *fig.* 85, *Pl. XVIII*. D'autres fois, pour la rendre plus solide, on la fait à deux branches au lieu d'une, offrant la forme d'une fourchette qui embrasse la charpente de la porte, comme on le voit *fig.* 86 et 87, *Pl. XVIII*. Enfin, on lui donne parfois une des formes représentées *fig.* 88 et 89, *Pl. XVIII*. Ces dernières sont désignées sous le nom de pommelles.

Le poids et la façon des pentures sont très-variables. Cependant, en général, on leur donne plus de force et moins de fini pour les portes extérieures que pour les portes intérieures.

**Fiches.** On appelle fiches des espèces de petites pentures dont on fait un assez grand usage pour suspendre les fenêtres et les portes intérieures, assembler les panneaux des volets brisés, etc. On en distingue un assez grand nombre de variétés, parmi lesquelles nous mentionnerons, comme étant de l'usage le plus fréquent : la fiche à broche ou à nœud, la fiche à vase, la fiche de brisure, la fiche à chapelet, et la fiche à sifflet. La fiche à sifflet est une espèce de fiche dont les nœuds sont nombreux et tous enfilés sur une même broche ; mais les plans de séparation des nœuds sont plus ou moins inclinés, de façon que quand on ouvre la porte, les deux plans glissant l'un sur l'autre, la porte se soulève et passe aisément par-dessus un tapis, ou les inégalités des pavements ou des parquets.

Enfin le couplet est une forme qui ne diffère des fiches qu'en ce que les ailerons se clouent sur la boiserie, au lieu de s'encastrer dans son épaisseur. Il y en a de plusieurs formes et grandeurs. Les couplets ne s'emploient qu'aux portes grossières.

**Espagnolettes.** — Cette ferrure consiste en une verge métallique ronde, terminée par les deux bouts en crochets qui entrent dans des gâches quand la verge tourne dans un sens, et qui en sortent quand elle tourne dans le sens opposé. La verge passe dans deux ou trois lacets *a* (*fig.* 90, *Pl. XIX*) terminés en pitons qui l'attachent à la boiserie, mais qui lui laissent la liberté de tourner. Des embases placées des deux côtés de la tête des lacets empêchent la verge de hausser ou de baisser, et ne lui laissent que le mouvement giratoire. A la portée de la main, un levier de 16 à 18 centimètres de long, façonné en poignée avec un bouton, est attaché à la verge pour faciliter sa manœuvre. Ce levier est quelquefois fixé à demeure dans une direction perpendiculaire à la verge ; d'autres fois, il y est attaché à pivot. Dans le premier cas, son extrémité peut être armée d'une boucle qui s'engage dans le pêne d'une serrure ; dans le second, on l'arrête dans la position qui tient la porte ou la fenêtre fermée au moyen d'un mentonnet *b*.

**Crémones.** — Les crémones ont quelques ressemblances avec les espagnolettes et servent aux mêmes usages. Elles se composent *fig.* 91, *Pl. XVIII*) d'une tige en fer carrée ou méplate *a*, terminée en pêne d'un côté et de l'autre par un crochet recourbé. A la hauteur de la main, cette tige offre une petite crémaillère dont les dents engrènent avec celles d'un petit pignon *b*, armé d'un levier de 16 à

18 centimètres de long et au moyen duquel on peut hausser ou baisser la tige à volonté. Tout cet appareil est maintenu contre un des battants de la fenêtre par un certain nombre de glissières *c* fixées à vis contre la boiserie. Quand on baisse la tige, son extrémité inférieure entre dans un picolet, en même temps que son extrémité supérieure s'engage dans un arrêt convenablement disposé, et la fenêtre est fermée. Quand on hausse la tige, ses extrémités redeviennent libres et la fenêtre peut s'ouvrir. Cette ferrure s'applique aux portes, aux volets et aux persiennes, aussi bien qu'aux fenêtres où elle est actuellement presque exclusivement employée. Elle est ordinairement munie d'une poignée *d*.

On peut rapporter à ce genre de ferrure, les verrous doubles mus par un pignon qui engrène dans des crémaillères, par lesquels on les remplace quelquefois. La *fig.* 92, *Pl. XVIII*, représente un de ces mécanismes, et il se comprendra sans explication. Toute la ferrure est quelquefois encastrée dans l'épaisseur de la boiserie, et il n'y a d'apparent au dehors que la poignée qui sert à la manœuvrer. Cette disposition s'emploie aussi, quoique plus rarement, pour les crémones.

**Barres et fléaux.** — Ce moyen de fermeture est assez fréquemment employé aux portes extérieures et aux volets. Les principales dispositions usitées sont représentées par les *fig.* 93, 94 et 95, *Pl. XIX*. Dans la première on voit le fléau A (barre de fer méplate) fixé à un mouvement libre autour d'un boulon B, qui traverse un des vantaux. L'autre vantail porte un crochet méplat boulonné à vis dans lequel s'engage le fléau. Dans la *fig.* 94, le fléau se compose d'une barre qui a un mouvement de bascule autour d'un boulon placé vers le milieu de sa longueur. Les deux bouts de la barre viennent s'arrêter contre des crochets boulonnés aux vantaux, et placés d'une manière inverse l'un par rapport à l'autre. Enfin la *fig.* 95 représente une barre de fer méplate terminée à chaque bout par un piton à clavette, qui s'engage dans des trous percés dans chaque battant de la porte. Cette ferrure se place en dehors et les clavettes se placent en dedans. L'orifice des trous dans lesquels s'engagent les pitons est garni de rondelles en tôle.

**Clanches.** — On appelle *clanche*, *clinche* ou *loquet* une petite ferrure que l'on place aux portes. La *fig.* 96, *Pl. XIX*, fera comprendre ce petit appareil que tout le monde connaît.

**Crochets de retenue.** — On garnit presque toujours les portes et les volets de crochets de retenue. Celui qu'on voit dans la *fig.* 97, *Pl. XIX*, est en fer rond et n'offre rien de particulier que la figure ne fasse comprendre. La *fig.* 98, *Pl. XIX*, en représente un autre qui fait partie d'un ressort renfermé dans une boîte en tôle qu'on scelle dans le mur. Le mentonnet dont il est muni s'abaisse quand le vantail vient le heurter et se relève par l'effet du ressort dès que le vantail a dépassé l'arête saillante du mentonnet.

**Moraillons.** — On a représenté un moraillon dans la *fig.* 99, *Pl. XIX*. Il se compose d'une patte à charnière, garnie à son extrémité libre d'un auberon A qui s'engage dans le pêne d'une serrure. Quelquefois il n'y a pas d'auberon, et il est remplacé par un trou

rectangulaire dans lequel entre un clameau qui reçoit un cadenas.

**Serrures.** — C'est une machine ordinairement très-compliquée, une sorte de verrou perfectionné, qui sert à fermer ou à ouvrir les portes à volonté, au moyen d'une clef.

La serrure offre une boîte en forme de parallélipipède en tôle, dont la face principale se nomme *palastre*, le côté opposé se nomme *couverture*. Les quatre autres faces forment l'épaisseur de la serrure. Celle de ces faces que traverse le verrou ou le pêne se nomme le bord ou le rebord; les trois autres ont le nom de cloisons. Cette boîte contient tout le mécanisme. Le pêne se meut sur le palastre; il est contenu par un ressort qui le comprime et qui entre dans des coches qui lui sont destinées. La clef, introduite dans cette machine, accroche, en tournant, le ressort et le soulève, en même temps qu'elle rencontre une barbe du pêne, le pousse et le fait marcher. Le pêne, en sortant de la serrure, entre dans une gâche qui retient sa tête fortement, au moyen de quoi la porte est fermée. Pour empêcher qu'une autre clef n'entre dans la serrure, on dispose dans son intérieur des diaphragmes minces, placés de telle manière qu'ils passent librement dans des ouvertures pratiquées dans la clef. Ces dispositions générales peuvent être variées de mille manières, et de tout temps les serruriers se sont ingéniés à les combiner de façon à rendre les serrures aussi inviolables que possible. De là une foule de variétés de serrures qui se distinguent par les formes bizarres de leurs clefs ou les complications plus ou moins ingénieuses de leur mécanisme. Nous ne saurions donner ici même une idée de toutes ces variétés, sans entrer dans des détails qui ne seraient pas à leur place. Nous nous bornerons à indiquer le nom et à donner une définition succincte de quelques serrures dont on fait le plus fréquemment usage.

On appelle serrure *à demi-tour*, toute serrure dont le pêne se pousse au moyen d'un bouton, d'une pomme ou d'une poignée quelconque, et qu'on peut ouvrir par un demi-tour de clef. La serrure peut avoir, indépendamment de ce demi-tour, un tour ou un double tour de clef. La serrure à demi-tour se ferme par le choc du pêne sur le sautillon de la gâche.

La serrure *bénarde* s'ouvre et se ferme à clef des deux côtés, tandis que la serrure ordinaire ne s'ouvre de cette manière que d'un seul côté. La serrure bénarde convient aux appartements pour s'enfermer en dedans. Elle peut être à demi-tour, tour et demi, et double tour.

On désigne sous le nom de serrure *à pêne dormant*, toute serrure dont le pêne ne peut être mu qu'à l'aide d'une clef; sous celui de serrure *à auberonnière*, une serrure dont le pêne ne sort pas de la boîte. Il fait sa course en dedans, tout contre le palastre, et passe dans l'auberon d'une auberonnière. La serrure *à moraillon* est construite de la même façon; toute la différence consiste en ce que le pêne s'engage dans l'auberon d'un moraillon.

On appelle encore serrure *à secret*, une serrure dont les pièces sont tellement combinées, que même avec la clef on ne peut l'ouvrir si l'on n'en connaît pas le secret.

**Cadenas.** — On appelle ainsi une serrure mobile et portative, qui s'accroche et se décroche à volonté. On emploie les cadenas aux mêmes usages que les serrures ordinaires. Il y a presque un aussi grand nombre d'espèces de cadenas que de serrures. On en distingue de longs, de ronds, d'ovales, de carrés, etc. Il y en a qui ont la forme d'un écusson, d'un cœur, d'un triangle, d'une boule, etc.

Telles sont les diverses ferrures les plus employées aux portes et fenêtres. Elles offrent dans une foule de cas des modifications qui portent sur mille petits détails que nous ne saurions indiquer ici : il faut les observer dans les constructions existantes. On rencontrera aussi de temps en temps des ferrures qui ne rentrent dans aucune catégorie de celles que nous avons décrites. Il faut observer leur construction, s'en rendre compte, et petit à petit on se meuble la mémoire de détails dont on tire ultérieurement parti, et qu'on ne saurait jamais bien apprendre autrement.

**Dimensions et poids de quelques ferrures.** — Les dimensions et les poids des diverses ferrures décrites précédemment sont extrêmement variables; néanmoins les renseignements suivants ne seront pas dépourvus d'utilité.

Les plus grosses pentures à une branche qu'on emploie aux portes de ville et de poternes pèsent 15 à 20 kilogrammes. On y emploie du fer méplat de $0^m,015$ à $0^m,02$ d'épaisseur sur $0^m,07$ à $0^m,08$ de largeur. Les grosses pentures en équerre et bifurquées qu'on emploie aux mêmes portes ont un poids qui va de 30 à 40 kilogrammes. On les fait avec du fer du même échantillon que les précédentes. Pour les portes ordinaires des magasins, des arsenaux, etc., le poids des pentures se tient ordinairement entre 3 et 6 kilogrammes. On y emploie du fer de $0^m,008$ à $0^m,015$ d'épaisseur sur $0^m,04$ à $0^m,05$ de largeur. Les gonds de ces portes se font avec du fer de $0^m,03$ à $0^m,04$ en carré. Les pentures des portes légères intérieures et des volets des bâtiments militaires pèsent rarement plus de 2 kilogrammes. Elles se font avec du fer méplat de $0^m,004$ à $0^m,005$ d'épaisseur sur $0^m,03$ à $0^m,04$ de largeur. Dans les bâtiments civils, les mêmes ferrures ont des poids beaucoup moindres. Les pentures en équerre des volets, qui sont les plus fortes qu'on emploie dans les cas ordinaires, pèsent rarement plus de 1 kilogramme.

Les fiches à nœud sont classées dans le commerce par numéros; la plus petite espèce porte le n° 0000, les suivantes les n$^{os}$ 000, 00, 0; puis n$^{os}$ 1, 2, 3, etc.; les n$^{os}$ 4, 5, 6 sont les plus employés.

Les crémones et les espagnolettes des fenêtres ordinaires des bâtiments civils pèsent de 2 à 3 kilogrammes. La tige des crémones a ordinairement, pour les fenêtres de cette sorte, 10 sur 15 millimètres de section transversale; celle des espagnolettes 15 à 16 millimètres de diamètre. Pour les bâtiments militaires on leur donne souvent beaucoup plus de force.

On encastre rarement les serrures dans l'épaisseur des portes des constructions militaires. Presque toujours elles sont fixées sur les bâtis, au moyen de quatre boulons. Leur boîte est en tôle forte. On lui donne 20 à 25 centimètres de côté pour les grosses portes.

**Ferrage des portes, volets et croisées.** — La ferrure ordinaire d'une porte extérieure à un vantail se compose de deux pentures et d'une serrure. Quelquefois la serrure est remplacée par une clanche ; d'autres fois, lorsque la serrure est à pêne dormant, et que la porte doit être fréquemment ouverte et fermée, on la munit tout à la fois d'une clanche et d'une serrure. Ces ferrures se fixent au moyen de boulonnets et de clous, ou de vis qui s'engagent dans les trous destinés à les recevoir. Les écrous des boulons doivent toujours être placés en dedans de la porte, c'est-à-dire du côté de l'intérieur du bâtiment. Lorsque la porte est à deux battants, l'un des vantaux est ferré de la même manière que celui qu'on vient de décrire ; l'autre est muni de deux pentures, d'une gâche de serrure et de deux verrous, l'un au haut, l'autre au bas de la porte, ou d'un double verrou. Ce dernier vantail, qui s'ouvre moins fréquemment que l'autre, est souvent désigné sous le nom de dormant. Les ferrures que nous venons d'indiquer sont encore quelquefois complétées par d'autres moyens de fermeture, qui mettent la porte plus à l'abri des tentatives qu'on ferait de l'extérieur pour l'ouvrir. Ces moyens consistent principalement en barres ou moraillons de différentes formes. Ces pièces sont boulonnées sur l'un des vantaux, et s'attachent à l'autre ou à l'encadrement fixe de la porte au moyen d'un cadenas, d'une serrure à auberonnière ou autrement. Les barres et les moraillons peuvent être remplacés par des chaînes fixées à l'un des vantaux par un clameau, et qui s'accrochent à un crochet fixé à l'autre.

Les portes intérieures à un vantail sont ordinairement suspendues au moyen de deux pentures ou de trois fiches à nœuds, et elles sont munies d'une serrure bénarde encastrée dans l'épaisseur du bâti au moyen de quatre vis.

Les portes à deux battants sont ferrées de la même manière, seulement la serrure de l'un des vantaux est remplacée par deux verrous, par une crémone ou par un double verrou manœuvré par une crémaillère.

Les volets, les persiennes et les fenêtres sont ferrées d'une manière analogue. Chaque vantail est suspendu au moyen de deux pentures ou de deux ou trois fiches à nœuds ou autres ferrures du même genre ; l'un des vantaux porte en outre une crémone ou une espagnolette disposée de façon à fermer d'un seul coup les deux vantaux. Il suffira d'observer les nombreux exemples de ces dispositions qu'on rencontre à chaque pas, pour en avoir bien vite une connaissance parfaite.

Une précaution importante lorsqu'on ferre une porte, c'est de veiller à ce qu'elle ne *saigne pas du nez*, c'est-à-dire qu'elle n'incline pas en avant quand on l'ouvre, ce qui l'exposerait à traîner par terre et à être d'une manœuvre difficile. Le poseur doit avoir un soin tout particulier de ne pas trop serrer la porte dans la feuillure en attachant les pentures, car il l'empêcherait de battre librement dans celle de l'autre côté. Le ferrage de la menuiserie mobile exige du reste une foule de petites précautions qui sont bien connues des bons ouvriers, et qu'on apprendra en suivant quelques opérations de

ce genre. Nous ne nous y arrêterons pas ici, dans la crainte de trop multiplier les détails.

**Croisées.** — On fait actuellement, en fer battu ou en fonte, des croisées qui ne diffèrent, le plus souvent, de celles en bois que par les moindres dimensions des pièces élémentaires qui les composent, et qui dépendent, d'ailleurs, de leurs dimensions superficielles. Nous donnons comme exemples :

La *fig.* 100, *Pl. XIX*, représente une croisée cintrée dormante en fer.

La *fig.* 101, *Pl. XIX*, représente une croisée à deux ouvrants, également en fer.

La *fig.* 102, *Pl. XIX*, une croisée rectangulaire en fonte et à bascule.

Quelquefois les fenêtres ne sont pas totalement en serrurerie comme celles dont on vient de parler ; il n'y a en fer ou en fonte que les croisillons qui sont assemblés dans un encadrement en bois.

**Grilles.** — Les grilles sont des constructions en fer ou en fonte destinées à clôturer les cours, les jardins, les parcs, etc. Ordinairement une grille se compose de travées séparées par des pilastres en pierre, en maçonnerie ou en fer. Chaque travée est formée d'un certain nombre de barres horizontales, nommées sommiers ou traverses A (*fig.* 103, *Pl. XIX*), scellées dans les pilastres et dans lesquelles sont assemblées des hampes ou barreaux montants, carrés ou cylindriques, munis à leur partie supérieure d'un fer de lance ou d'un ornement, et à leur partie inférieure d'un cul-de-lampe. Ces ornements sont attachés aux hampes au moyen de goupilles rivées. Ils sont ordinairement en fonte, tandis que les barreaux sont en fer malléable, plein ou creux. L'assemblage des hampes avec les sommiers se fait de la manière suivante : les sommiers sont percés d'outre en outre, et à distance convenable de trous cylindriques forés à froid, et qui se correspondent bien exactement ; les hampes se placent dans ces trous et y sont maintenues par des goupilles rivées qui servent en même temps à maintenir l'écartement entre les sommiers, alors même qu'il ne le serait pas par le scellement de leurs extrémités. Ces dispositions peuvent être complétées par des ornements en fonte de diverses espèces, qui se fixent, le plus souvent, avec des goupilles sur les hampes ou sur les sommiers.

On fait notamment pour les balcons, les rampes d'escalier, et autres ouvrages du même genre, des grilles qui sont d'une construction un peu différente de celle que nous venons de décrire ; elles se composent d'un certain nombre de montants distribués uniformément sur toute la longueur de la grille, et de traverses horizontales ou rampantes assemblées avec eux. Ces pièces forment par leur réunion des parallélogrammes plus ou moins allongés dont l'intérieur est rempli par des losanges, des lances ou des thyrses en croix, ou d'autres ornements, et même par des panneaux en fonte d'un dessin compliqué. Nous ne pouvons ici que donner une simple idée des constructions de ce genre dont on trouvera de nombreux modèles dans les ouvrages de serrurerie.

Les grilles sont maintenues dans la position verticale au moyen de poussarts inclinés, d'une forme parfois élégante et très-ornée.

**Barrières.** — Les barrières ne sont autre chose que des grilles mobiles. On y retrouve donc en général toutes les combinaisons de grilles dormantes avec lesquelles elles sont fréquemment combinées. Mais à cause de leur mobilité, leur construction exige des soins tout particuliers. La *fig.* 104, *Pl. XIX*, représente une barrière d'une assez grande dimension.

## ESCALIERS.

*Voir* le chapitre Escalier, pages 259 à 272 dans le tome Ier, partie théorique de notre *Manuel des aspirants au grade d'Ingénieur des Ponts et Chaussées.*

## APPRÉCIATION DU PRIX DES OUVRAGES.

Le devis descriptif définit exactement la forme, les dimensions et le genre de construction de chaque partie de l'ouvrage. Au moyen de ces données, il est facile de calculer exactement la quantité de chaque nature d'ouvrage qu'il sera nécessaire de faire. C'est l'avant-métré qui comprend toutes ces quantités; cette pièce doit être dressée avec ordre, méthode et régularité; elle permet d'embrasser plus aisément d'un seul coup d'œil les principaux éléments de la dépense; elle est le complément indispensable d'un détail estimatif bien fait.

On forme le détail estimatif en faisant l'application du prix de l'unité de volume, de superficie ou du poids à chacune des quantités d'ouvrage à exécuter. En faisant le total de tous ces coûts partiels, on aura le total ou le montant des dépenses d'exécution. Sa rédaction, lorsqu'on connaît les prix élémentaires, n'offre aucune difficulté. Il suffit d'y mettre un peu d'ordre et de méthode.

**Analyse ou sous-détail des prix.** — L'avant-métré est, comme nous l'avons déjà dit, une des bases importantes du détail estimatif; mais il en est une autre qui ne l'est pas moins, c'est l'analyse du sous-détail des prix élémentaires. Il faut remarquer en effet qu'il n'est pas un seul des ouvrages compris dans le devis estimatif dont le prix ne soit composé d'éléments très-complexes et qui demandent à être estimés eux-mêmes à leur juste valeur.

Ainsi dans le prix du mètre cube de terrassement, il entre d'abord une fraction du prix de la journée du terrassier, puis une certaine somme pour prêt et usure d'outils, de planches de roulage, etc.; dans celui du mètre cube de maçonnerie en briques, doivent figurer en première ligne le prix du nombre de briques et du volume de mortier nécessaires; puis un tantième du prix de la journée du maître maçon et de son aide, plus enfin une certaine somme pour prêt et usure d'outils, de perches et de planches d'échafaud, etc. Le prix du mortier lui-même, qui entre dans la composition du prix de la maçonnerie, se décompose en prix du sable, de la chaux, du ciment ou de la pouzzolane employés, et en prix de main-d'œuvre de

fabrication, plus une certaine somme encore pour prêt et usure d'outils, construction de baraques, d'aires ou de machines, etc.

L'importance d'un bon sous-détail de prix est incontestable, car il fournit seul les moyens de discuter avec certitude, dans un grand nombre de cas, et les prétentions des entrepreneurs et l'économie qui peut résulter de l'emploi de telle espèce d'ouvrage de préférence à telle autre.

On aurait tort de croire qu'au moyen de l'adjudication publique la connaissance exacte des prix n'offre pas le même intérêt que quand on traite de gré à gré, et de supposer que la concurrence rectifiera suffisamment les erreurs commises par défaut de renseignements exacts sur les prix des choses. On peut être persuadé, au contraire, qu'en général ce n'est là qu'une exception, et que la plupart du temps, lorsque les concurrents à une entreprise trouvent, dans les prix appliqués aux détails estimatifs, une certaine exagération qui leur permet de réaliser des bénéfices, ils se coalisent pour se les partager.

Des prix établis trop bas n'ont pas un inconvénient aussi fâcheux, mais ils ont celui de provoquer des hausses à chaque adjudication, et de faire naître des difficultés administratives tellement redoutées de beaucoup de fonctionnaires, que cela crée une tendance à tomber dans l'excès contraire.

Autant une bonne analyse de prix est importante, autant elle est longue et difficile à faire. Celui qui s'y livre est arrêté à chaque pas par des difficultés : ici, ce sont les entrepreneurs qui ont enjoint aux marchands ou fournisseurs avec lesquels ils traitent de ne donner que des renseignements aussi exagérés que ceux qu'ils fournissent habituellement eux-mêmes ; là, ce sont des différences énormes entre les prix des marchands indépendants des entrepreneurs, et qui ont pour cause tantôt des différences de qualité qu'ils négligent de renseigner, ou que leur intérêt les engage à dissimuler, tantôt le plus ou moins de bonne foi avec laquelle ils livrent, de prime abord, leur prix véritable à l'acheteur ; ailleurs, l'un donne le prix de sa marchandise vendue au détail, et l'autre celui de la vente en gros.

De là naissent mille contradictions, au milieu desquelles il est quelquefois difficile de démêler l'exacte vérité. Ce n'est qu'à force de renseignements puisés aux sources les plus différentes que la lumière peut se faire. Si l'on ajoute à tout cela le manque de renseignements parfaitement exacts sur les quantités d'ouvrage que des ouvriers d'une force et d'une habileté moyennes peuvent faire en une journée, et selon le degré de sujétion auquel l'ouvrage est soumis, sur l'usure des machines et des outils qu'ils emploient, etc., etc., on concevra mieux encore combien sont difficiles à faire de bonnes analyses de prix.

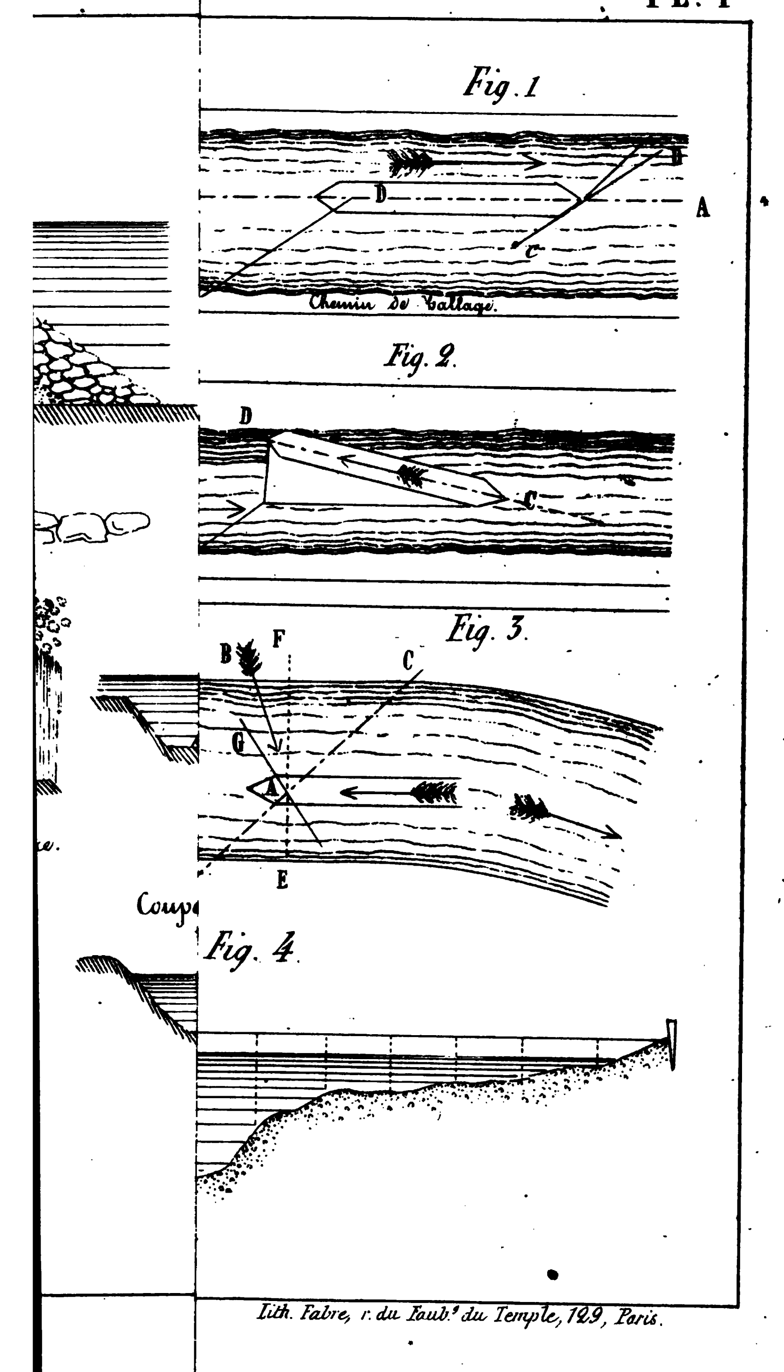
Du reste, l'ordre dans la distribution des matières est encore ici d'une indispensable nécessité.

La manière de procéder qui semble la plus rationnelle, est celle qui consiste à établir en premier lieu les prix des dépenses élémentaires, comme ceux des journées d'ouvriers de divers métiers et des matières premières de passer ensuite à la composition des prix les

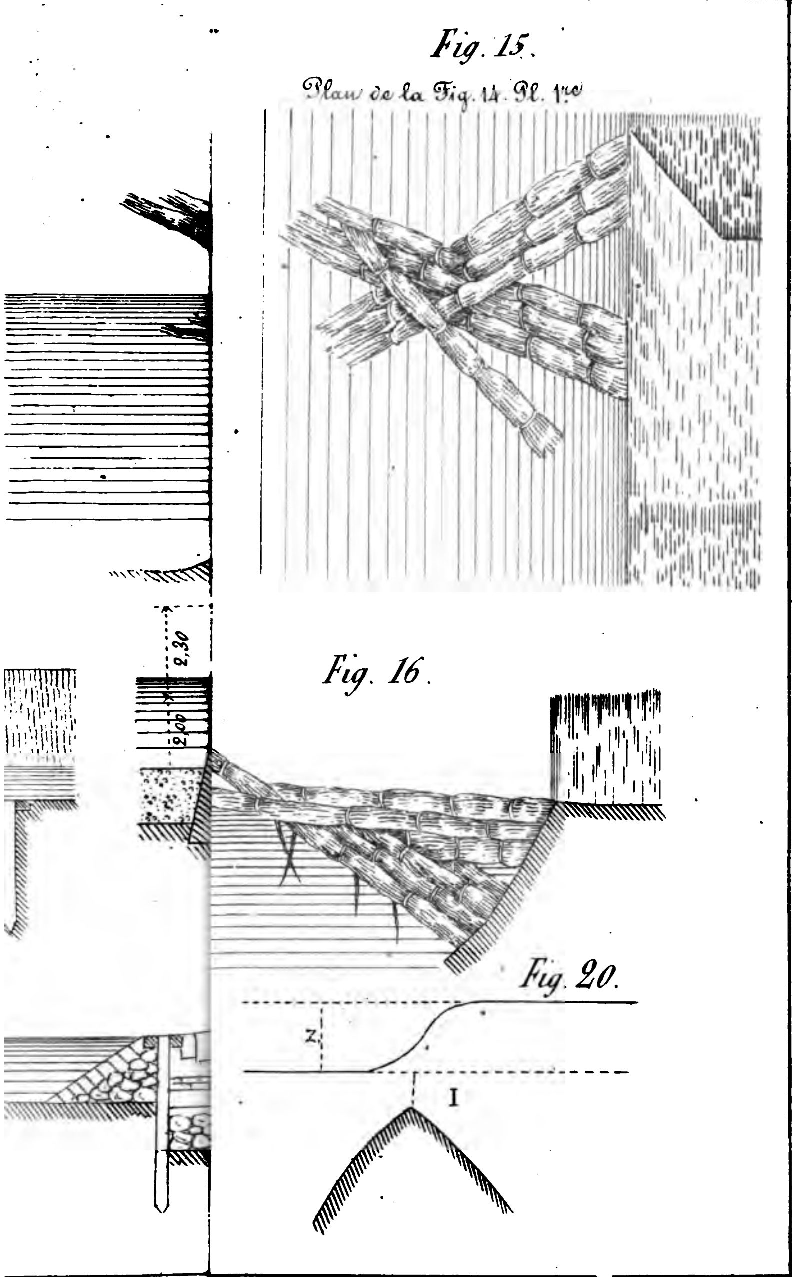
moins compliqués, pour continuer de proche en proche à estim
ceux qui le sont le plus. Pour rendre ce travail plus clair et évit
des répétitions, il faut numéroter chaque prix de l'analyse afin d
pouvoir renvoyer à son numéro chaque fois qu'on en fait usage da
un prix plus compliqué.

FIN DU DEUXIÈME ET DERNIER VOLUME.

PL. I




Lith. Fabre, r. du Faub.g du Temple, 129, Paris.




Lith. Fabre, r. d. Faubg d. Temple, 129, Paris.

PL. III

Fig. 33.

Fig. 27.

a

Fig. 28.

Coupe

Fig. 29.

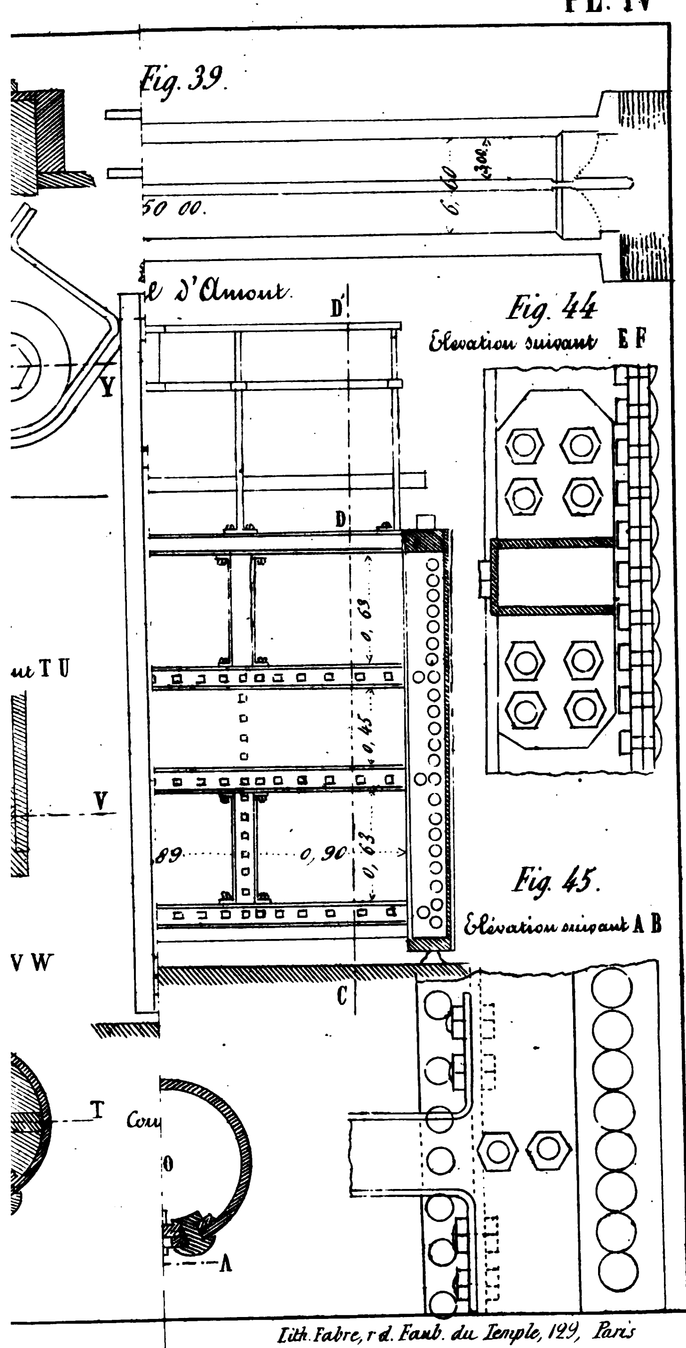
a

Fig. 30

a

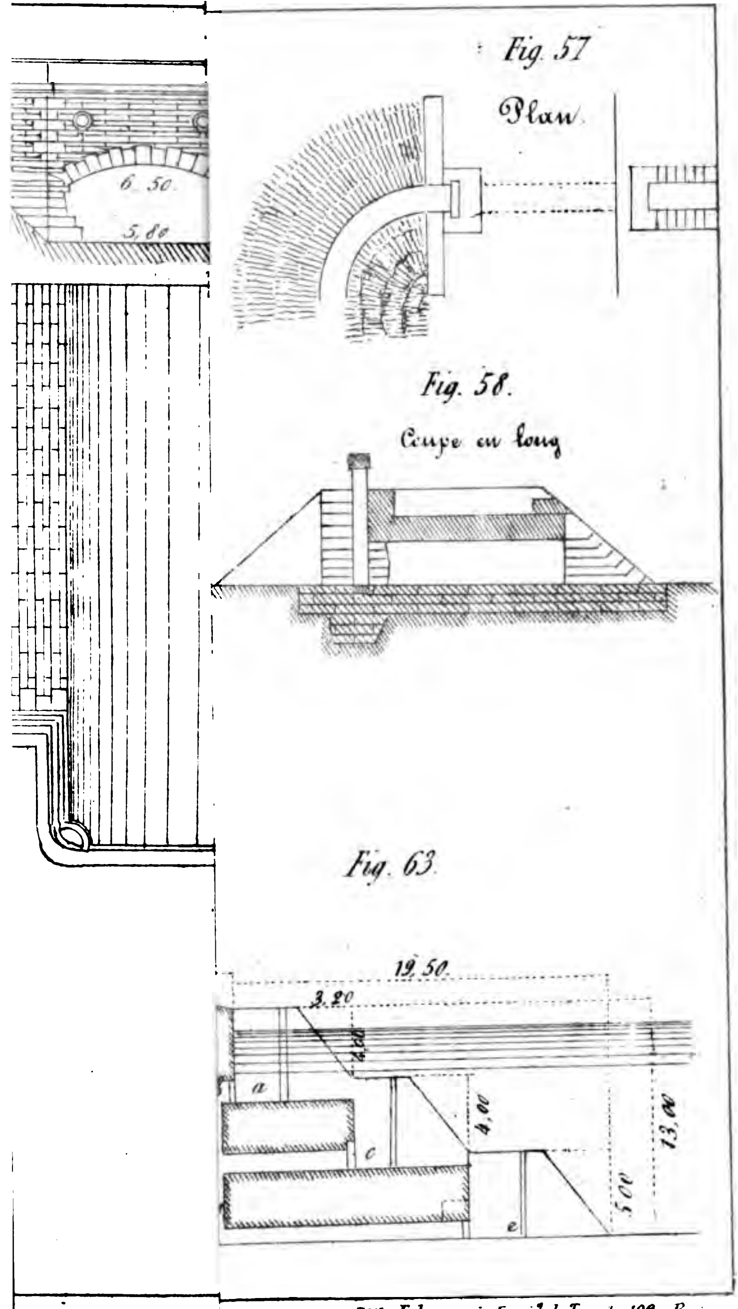
Lith. Fabre, r. d. Faub. d. Temple, 129, Paris.

PL. IV



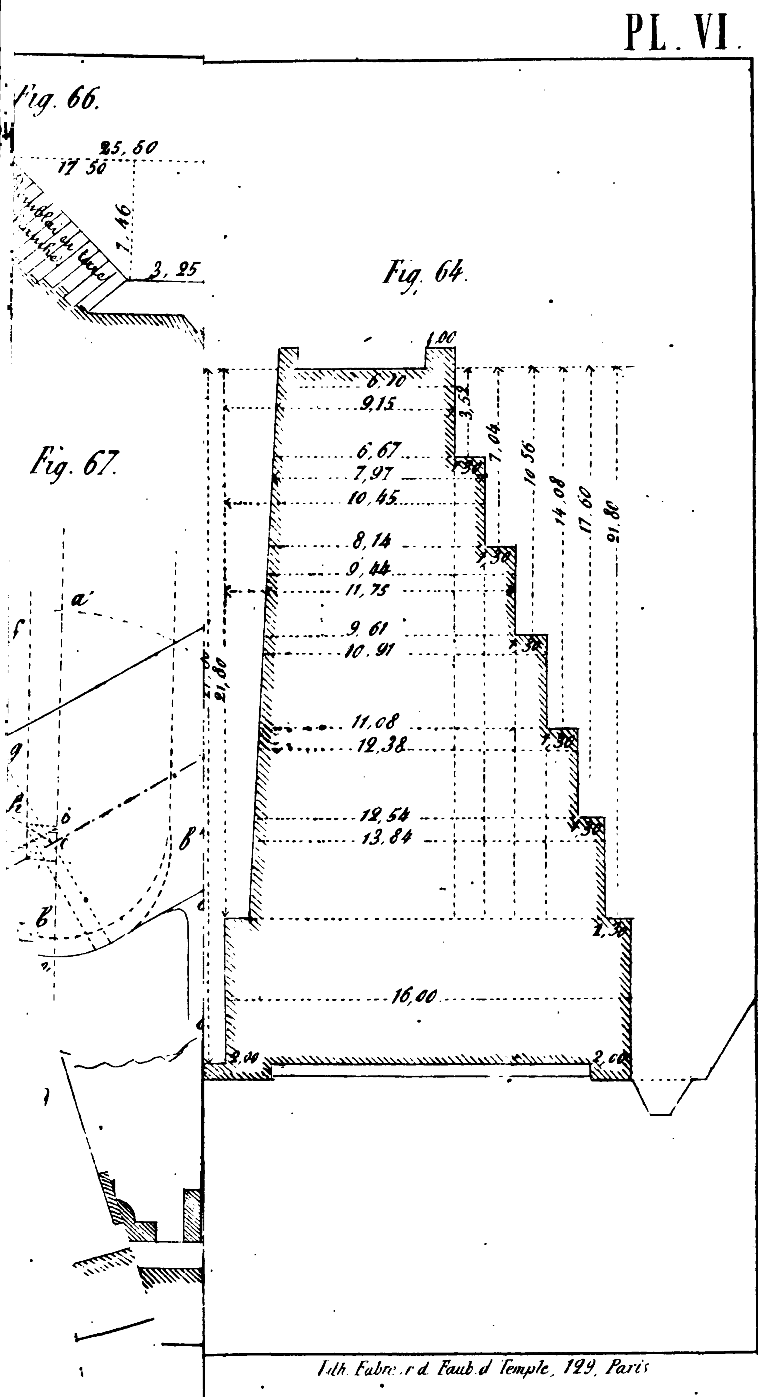

Lith. Fabre, r. d. Faub. du Temple, 129, Paris

PL. V



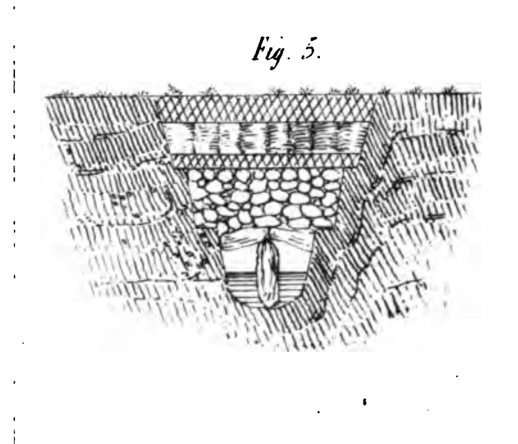

Lith. Fabre r. d. Faub.g d. Temple 199 Paris

PL. VI.




Lith. Fabre, r. d. Faub. d. Temple, 129, Paris

*Fig. 5.*





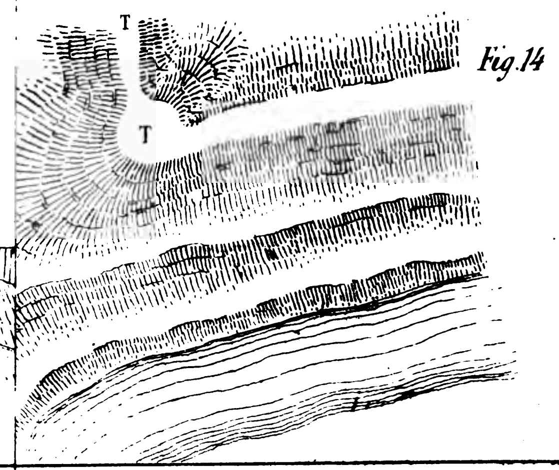
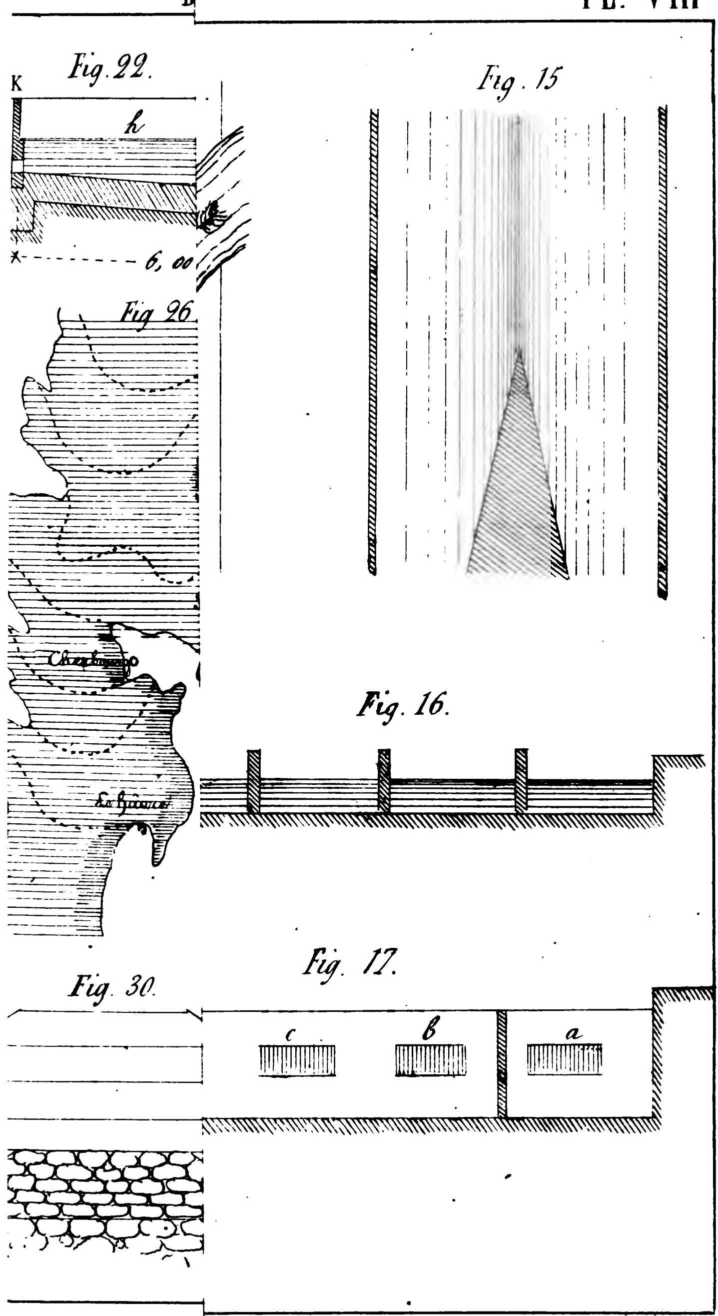



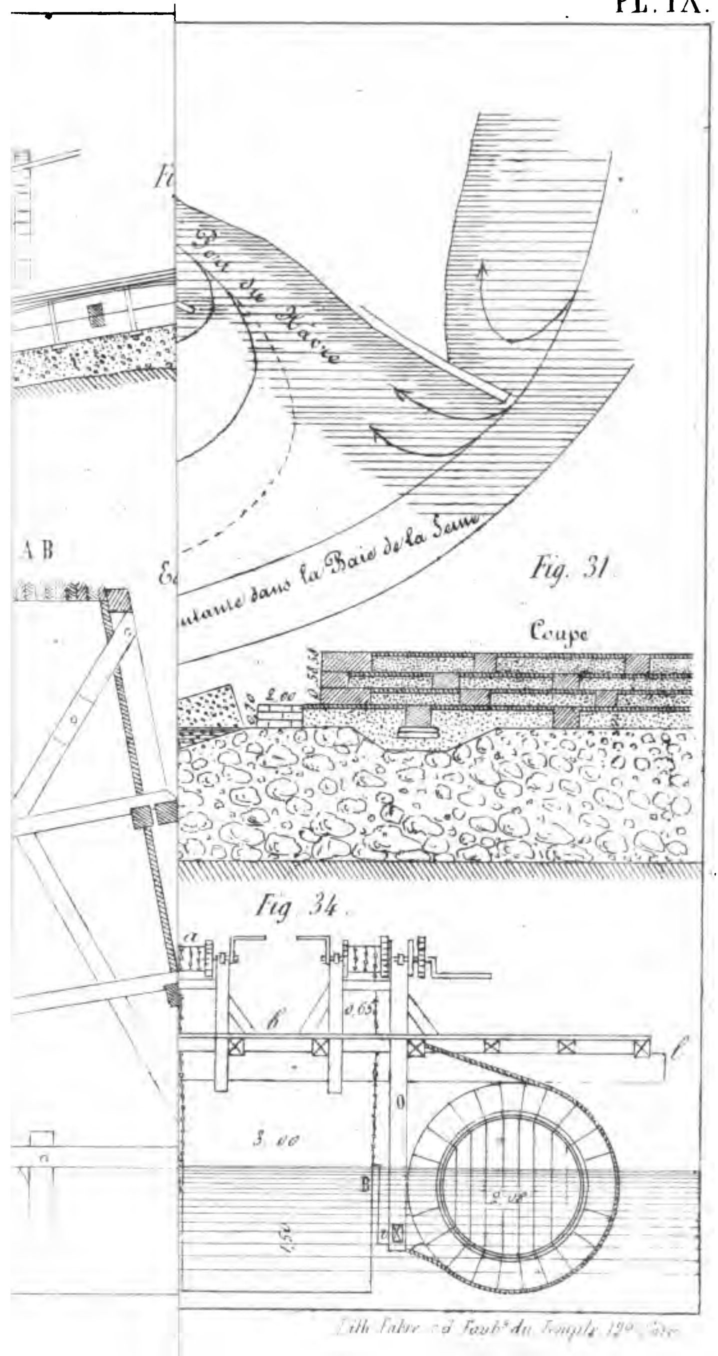

*Fig. 14*

Lith. Fabre r. du Faub.^g du Temple, 129. Paris

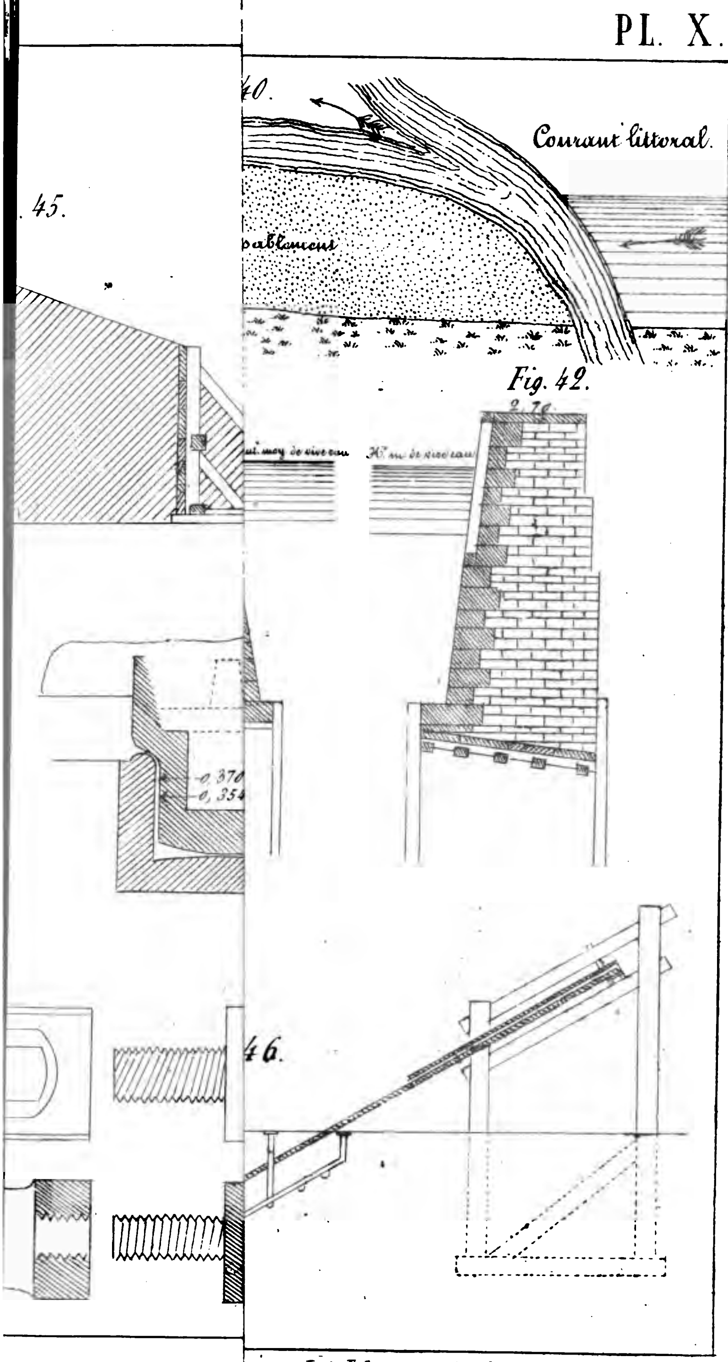
D PL. VIII




Lith Fabre r. d. Faubᵗ. d. Temple, 129, Paris.




Lith. Fabre ... Faub.g du Temple ...




Lith. Fabre, r. du Faub.$^g$ du Temple, 129 Paris.

PL. XI

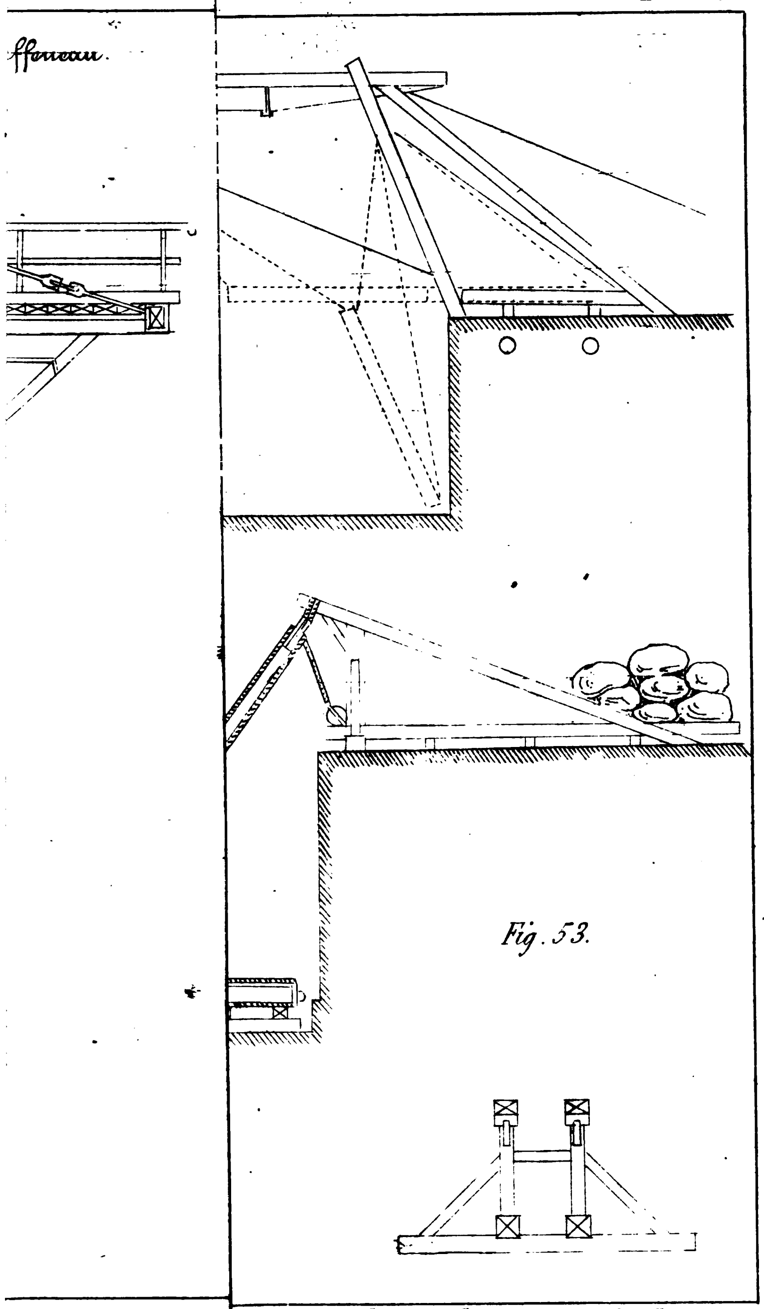
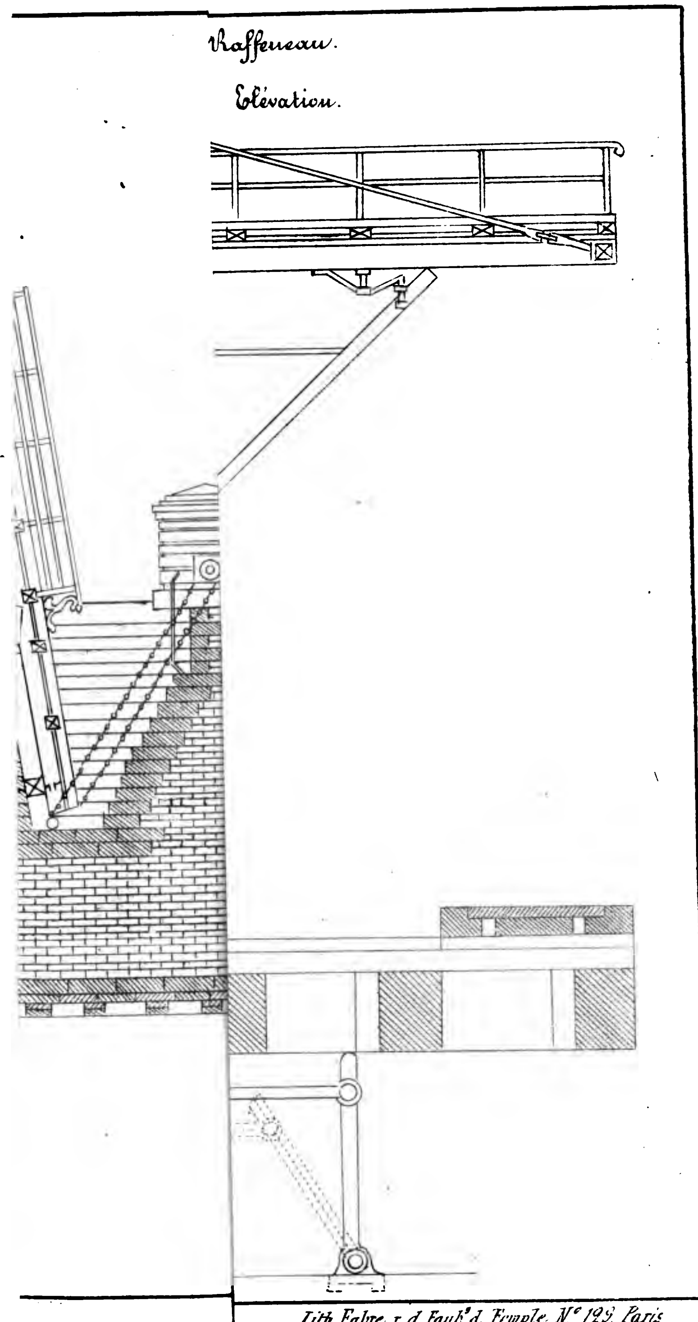



Fig. 53.

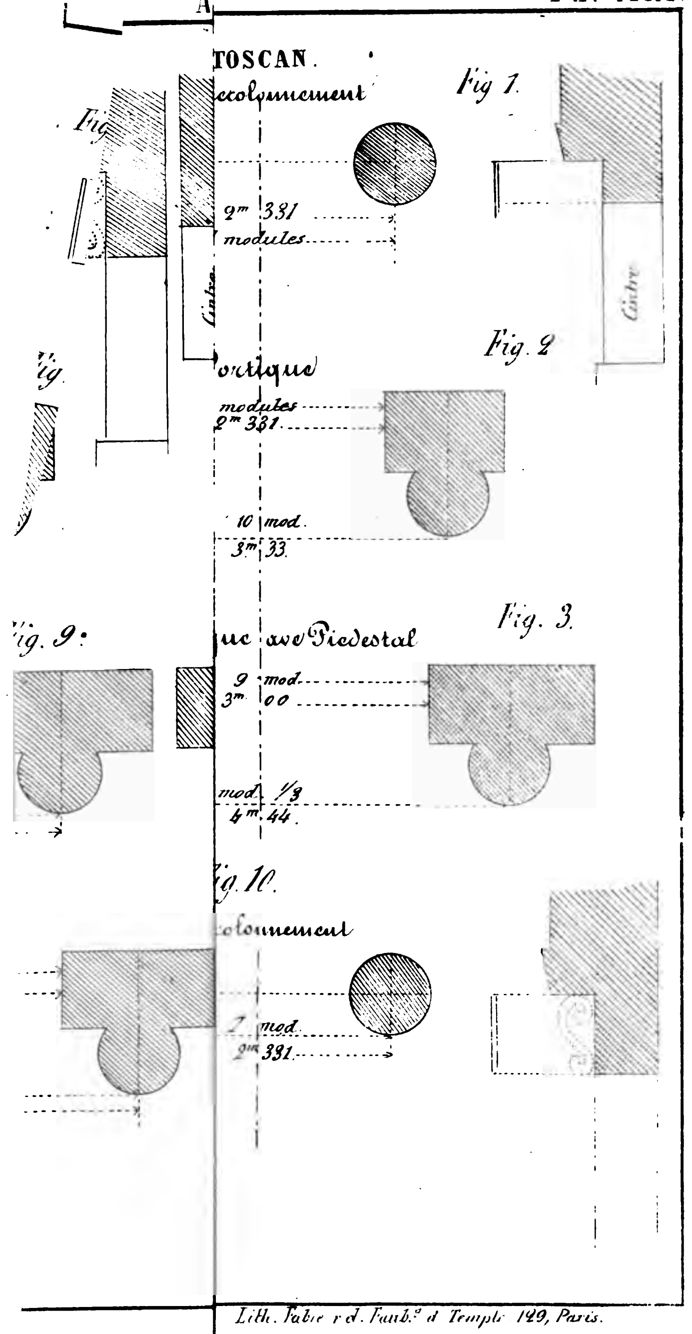
Lith. Fabre, r. d. Faub. du Temple, 129, Paris

PL. XII.

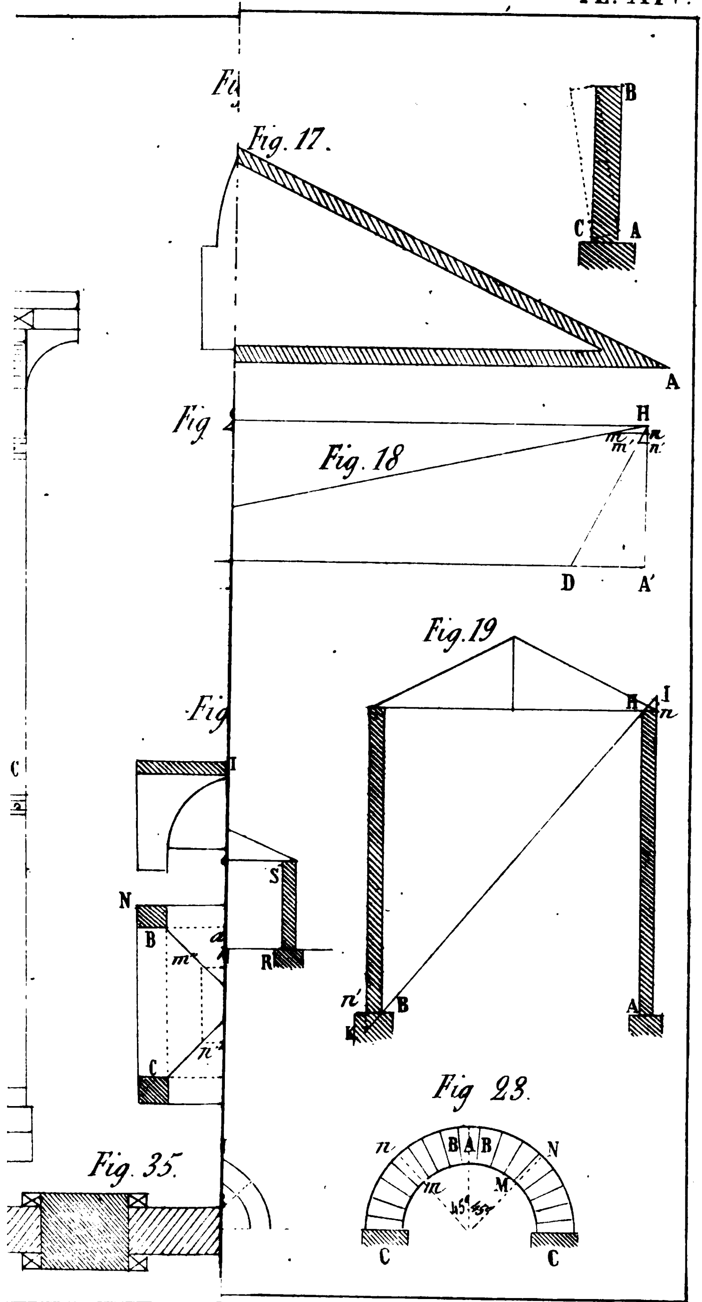



Lith. Fabre r. d. Faub.g d. Temple N.° 129. Paris.

PL. XIII.

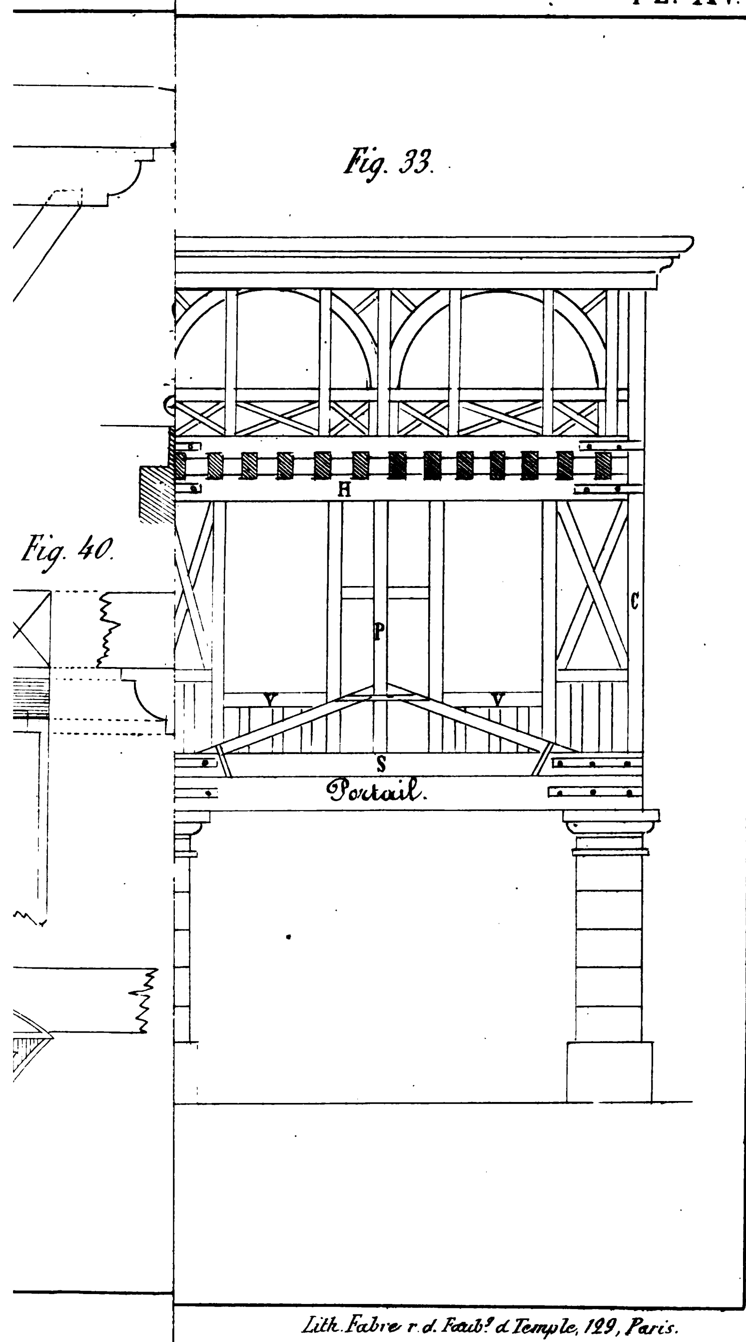



Lith. Fabre r. d. Faub.g d. Temple 129, Paris.

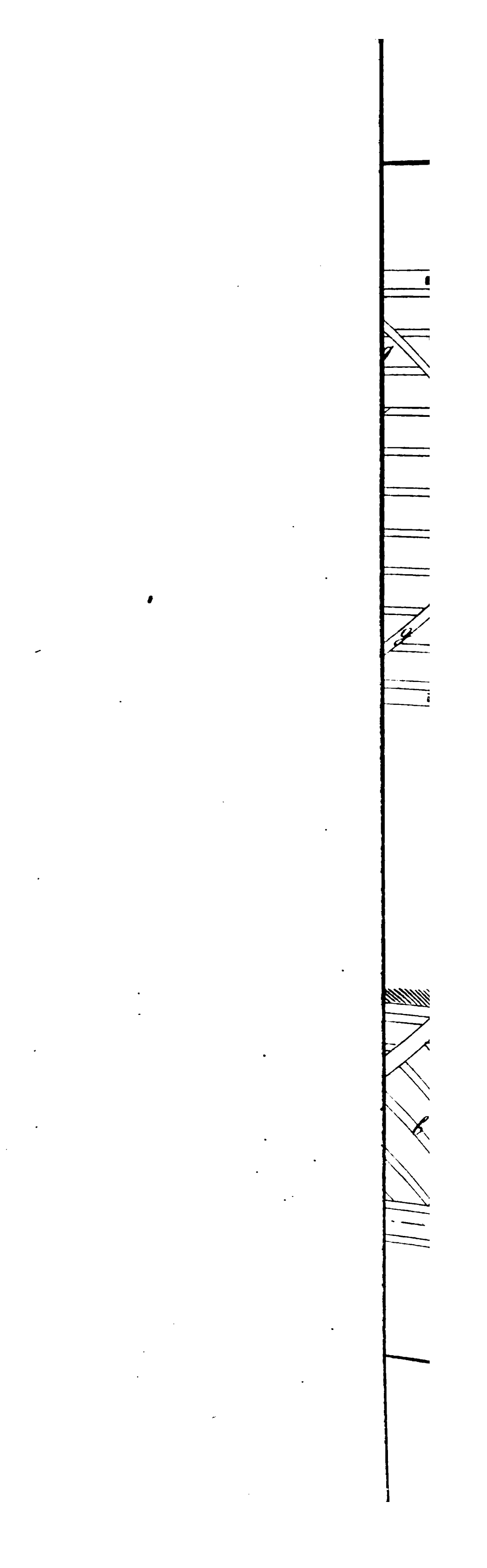


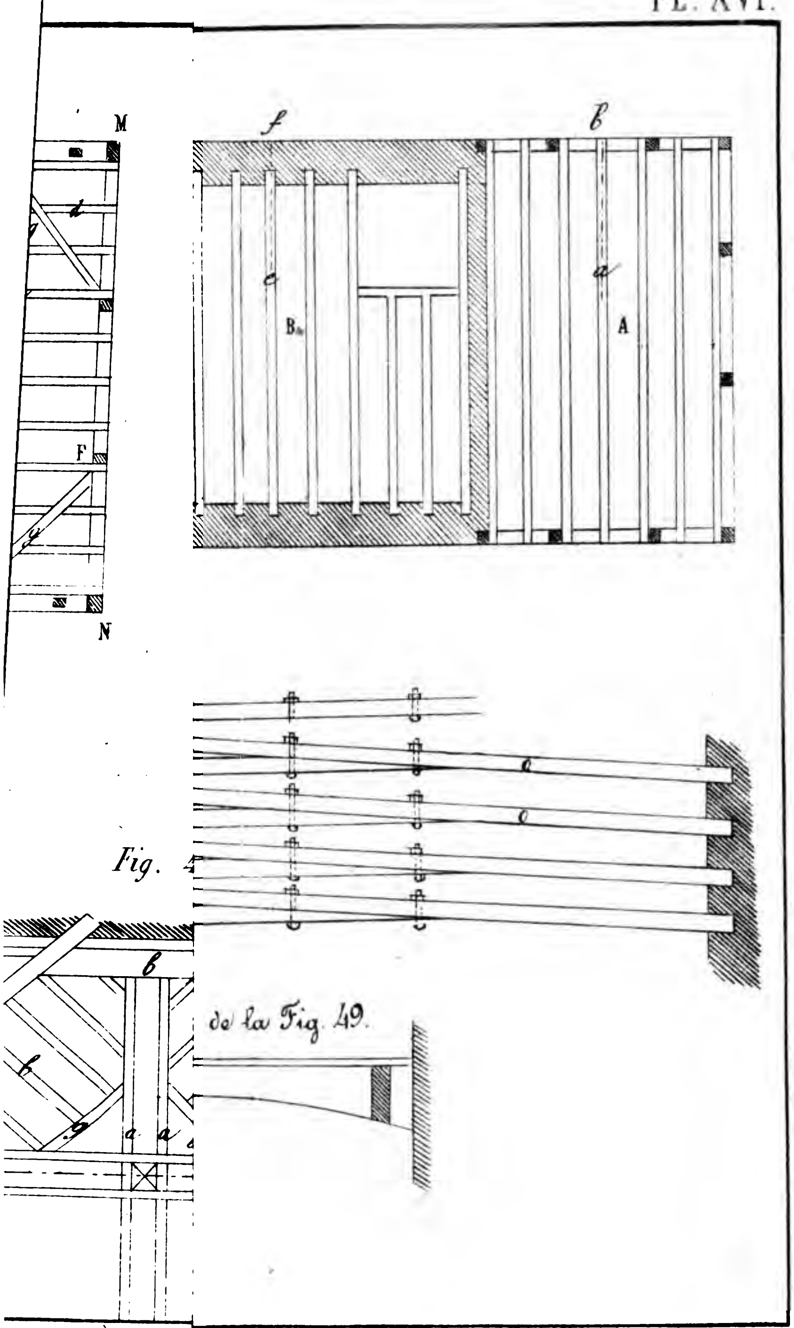

Lith. Fabre rue du Faubᵍ du Temple 129, Paris.

PL. XV.

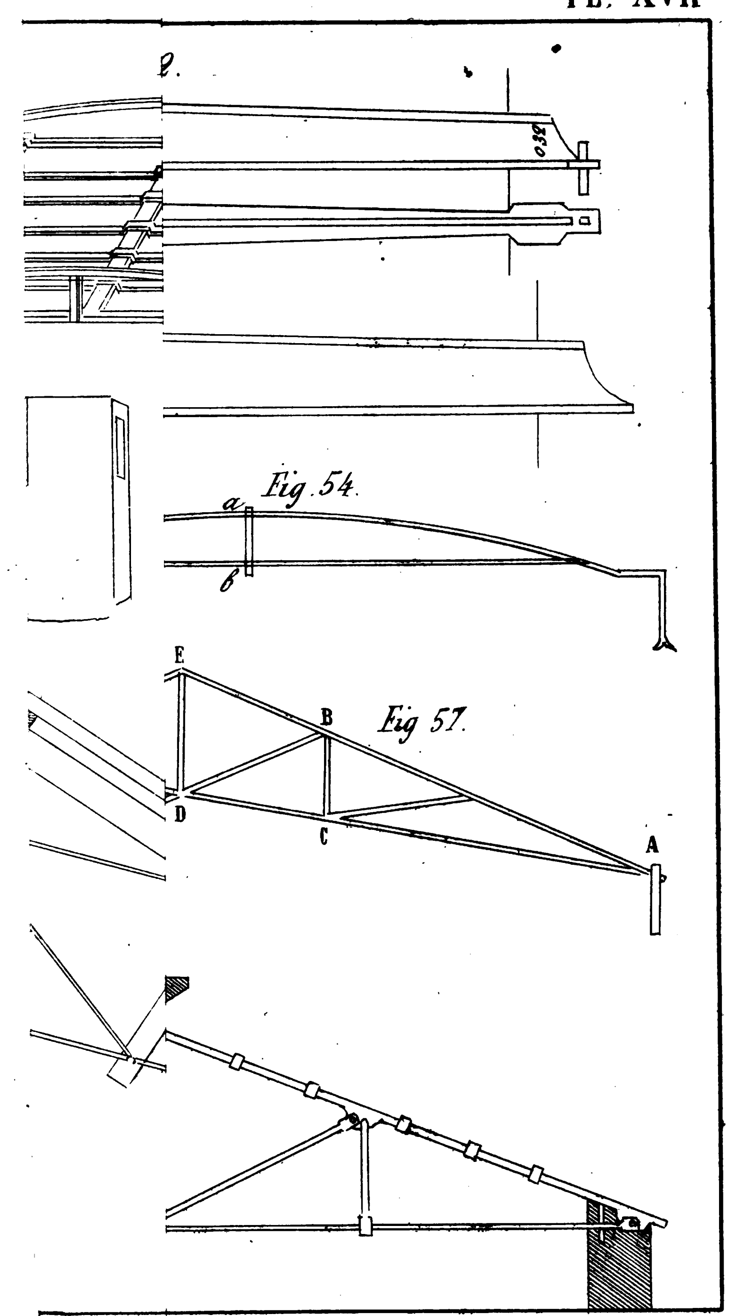



Lith. Fabre r. d. Faub.g d. Temple, 129, Paris.



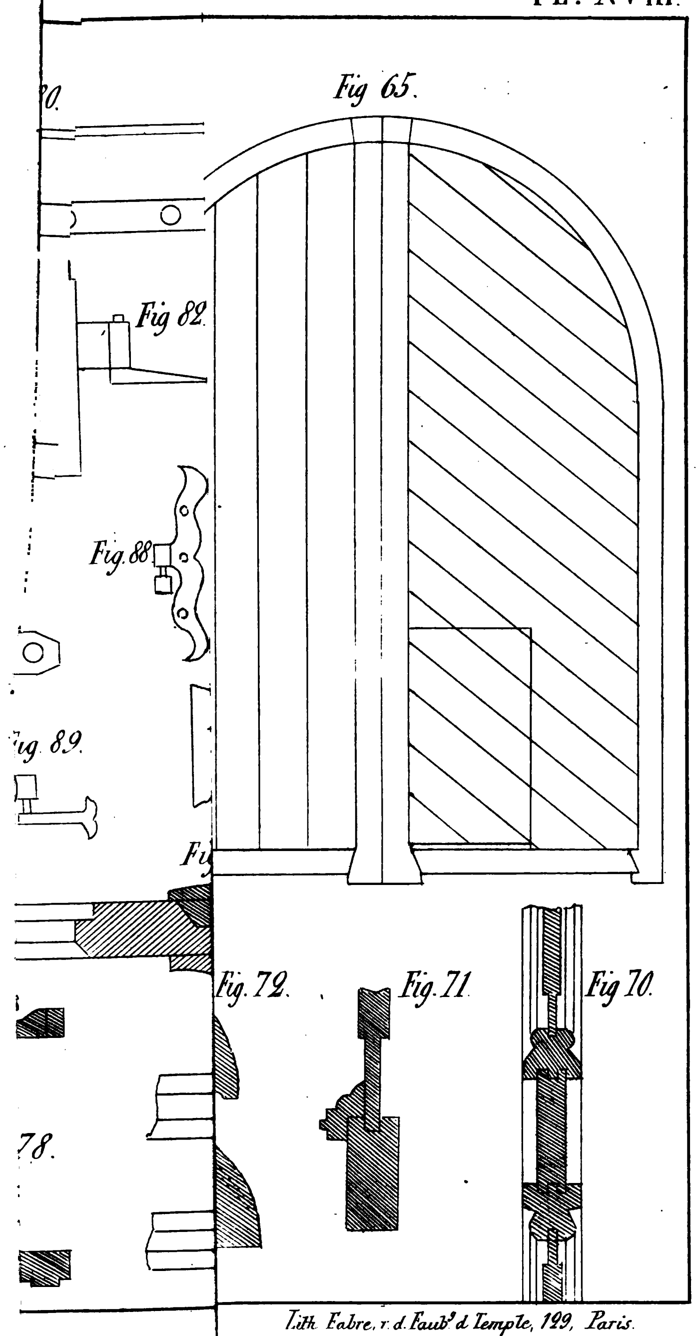



Lith. Fabre r. d. Faub.^g d. Temple. 129, Paris.



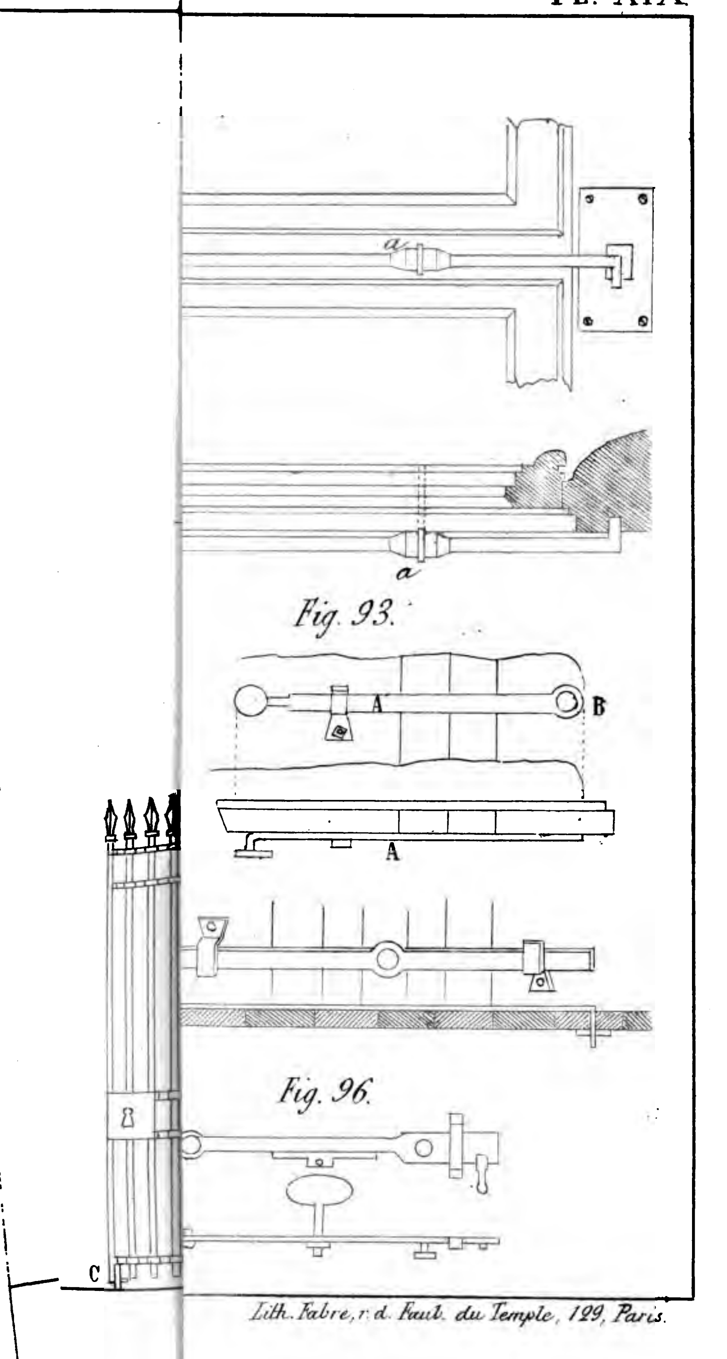

Lith. Fabre, r. d. Faub.g d. Temple, 129, Paris.

PL. XVIII.

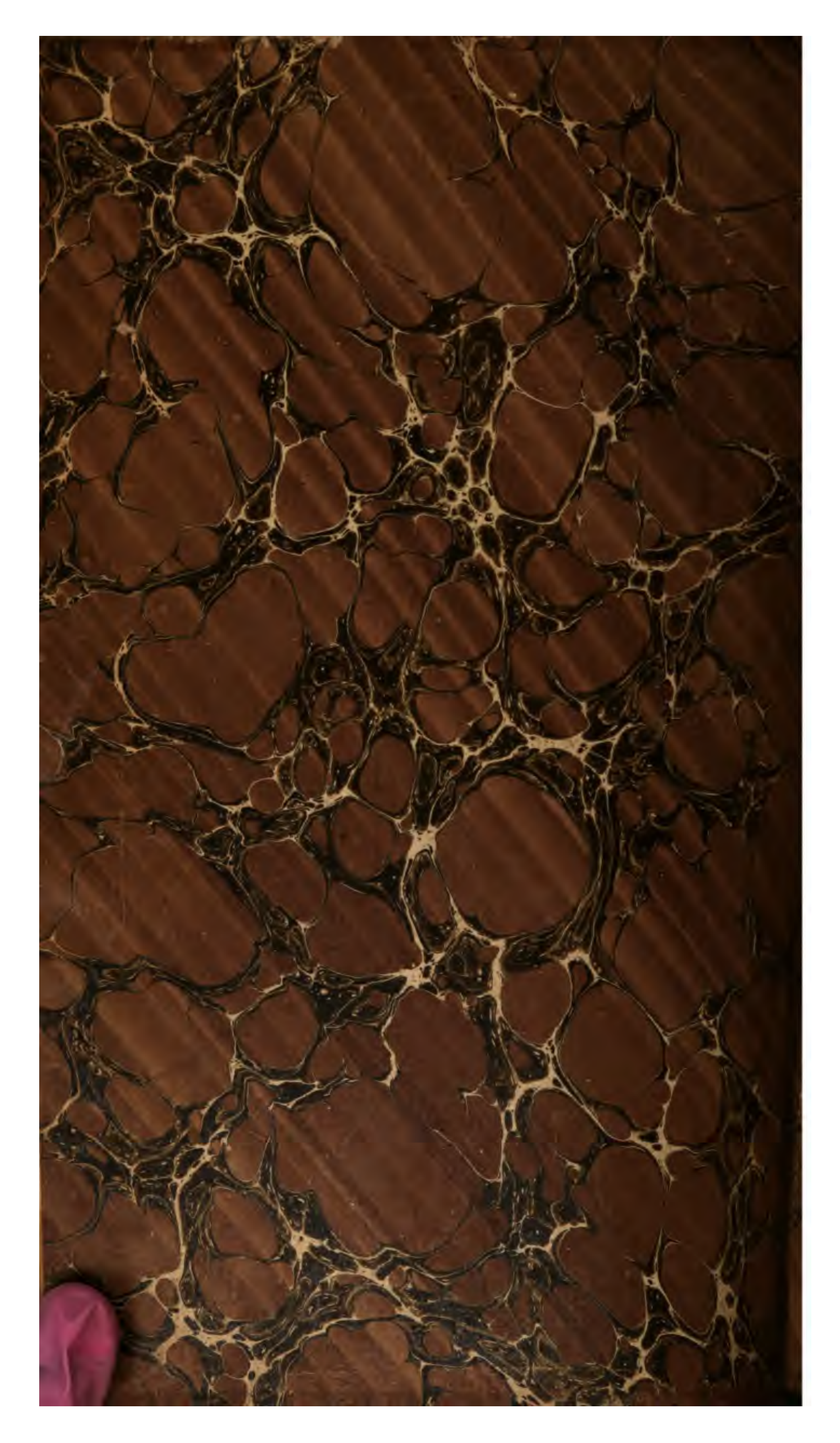


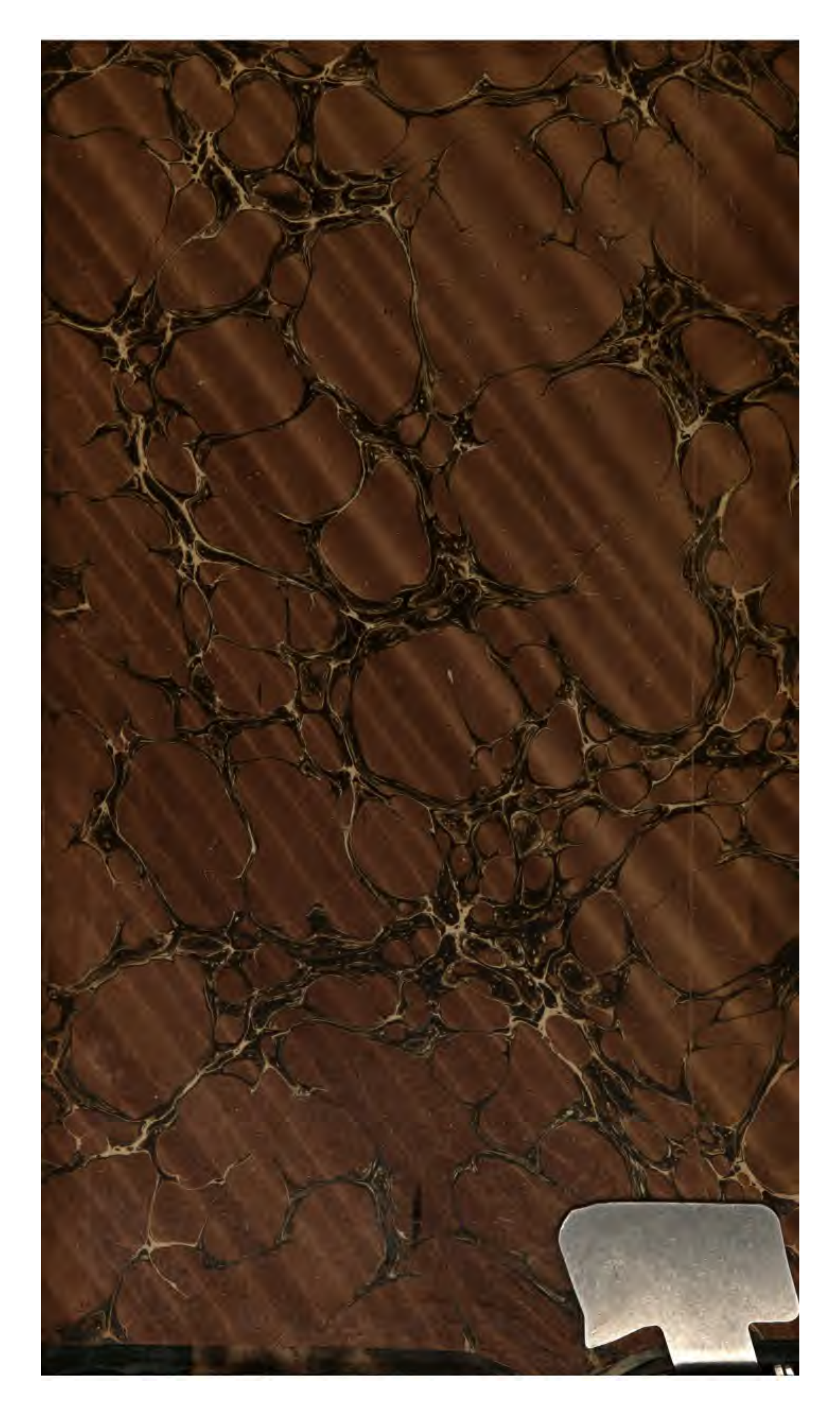

Lith. Fabre, r. d. Faub.g d. Temple, 129, Paris.

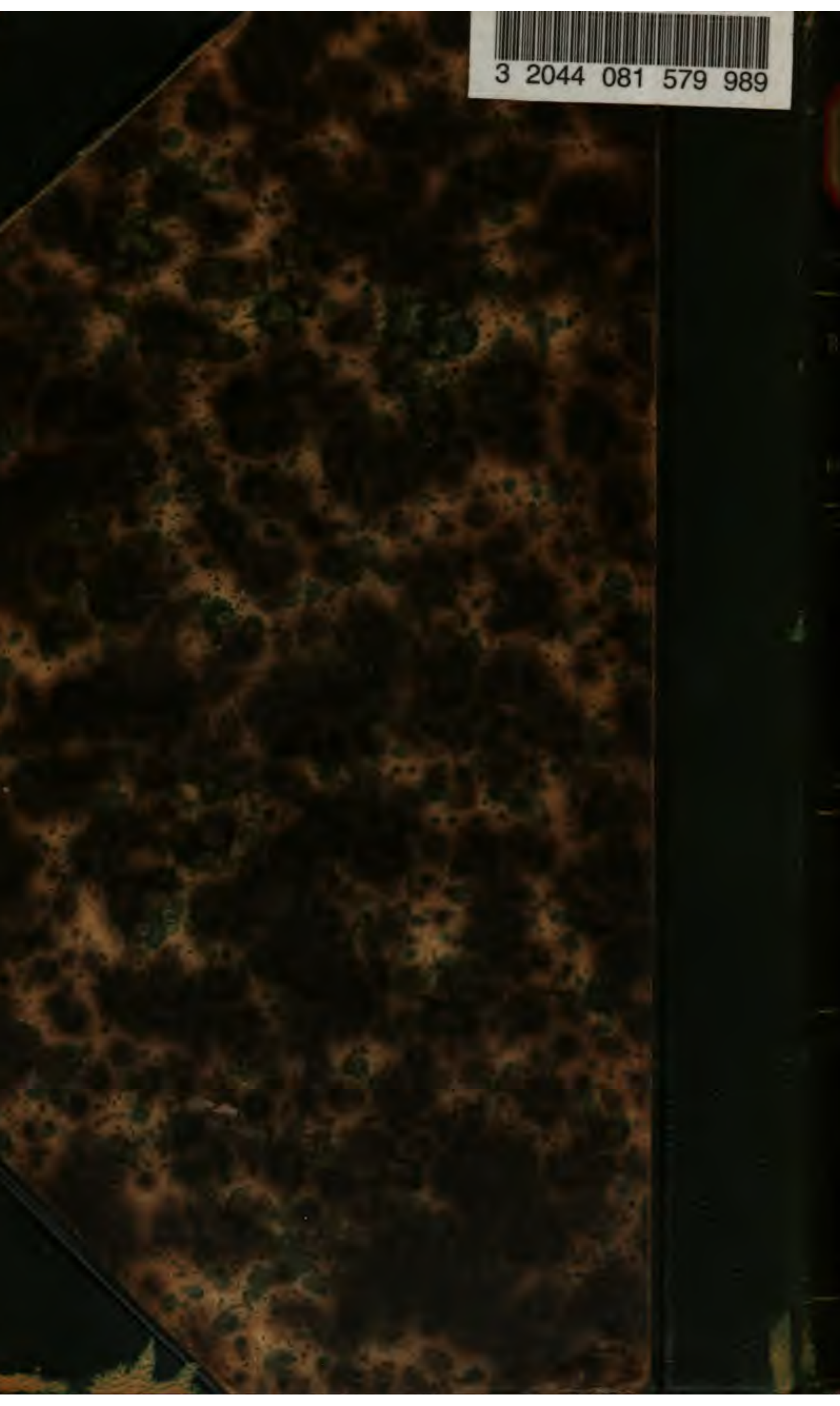
PL. XIX




Lith. Fabre, r. d. Faub. du Temple, 129, Paris.






3 2044 081 579 989